

Matthias Glatz

Tragwerks- und Ausführungsplanung für eine
Bandbrücke in einem Hartsteinwerk

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich: Maschinenbau Feinwerktechnik

Roßwein, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Joachim Krämer

Zweitprüfer: Prof. Dr. Ing. Herbert Voigtländer

Inhaltsverzeichnis

1.	Abbildungsverzeichnis	4
2.	Tabellenverzeichnis	6
3.	Einleitung	7
3.1	Beschreibung des Bauobjektes	8
3.2	Allgemeine Grundlagen Stetigförderer	10
4.	Lastannahmen	12
4.1	Allgemeine Angaben	12
4.2	Lastfälle	15
4.2.1	Eigenlasten (LF1 – LF5)	15
4.2.2	Verkehrslasten (LF10 – LF12)	21
4.2.3	Windlasten (LF15 – LF18)	28
4.2.4	Schneelasten (LF20 – LF22)	44
4.2.5	Eislasten	49
4.2.6	Imperfektionen (LF30)	53
4.3	Lastfallgruppen	54
4.4	Lastfallkombinationen	55
5.	Nachweise der Tragsicherheit	59
6.	Detailnachweise	59
6.1	Nachweis Gurtstoß	60
6.2	Nachweis Fachwerkstäbe	63
6.2.1	Pfosten der horizontalen Scheibe	63
6.2.2	Pfosten der vertikalen Scheibe	64
6.2.3	Diagonalen der horizontalen Scheibe	65
6.2.4	Diagonalen der vertikalen Scheibe	66
6.3	Rahmen über der Stütze	67
6.4	Nachweis des Brückenlagers (S3)	68
6.5	Nachweis Stützenkopf (S3)	72
6.6	Nachweis der Anschlüsse der Stützenstäbe (S3)	73
6.7	Nachweis der Stützendiagonalen	76
6.7.1	Stützenstoß	77

6.8	Nachweis Fußplatte (S2; IPE270)	77
6.9	Nachweis Fußplatte (S3; IPE450)	79
7.	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	81
8.	Stahlgüteauswahl	85
8.1	Stahlgütegruppenauswahl nach DAST 009	85
8.2	Vermeidung von Terrassenbrüchen nach DAST 014	87
9.	Fundamentlasten	89
10.	Literaturverzeichnis	93
11.	Selbständigkeitserklärung	94
11.	Anlagen	95

1. Abbildungsverzeichnis

- Bild (1) Abmessungen des Bauwerks
- Bild (2) Lastfall 2 im Bereich S1 – S2
- Bild (3) Lastfall 3 (Materialführung und Umlenktrommel)
- Bild (4) Lastfall 3 Brückenkopf
- Bild (5) Eigenlast aus den Stegen im Bereich S2 – S3
- Bild (6) Eigenlast der Haube im Bereich S2
- Bild (7) Verkehrslast aus Fördergut; Bereich S3
- Bild (8) Schematischer Gurtkraftverlauf
- Bild (9) Lastfall 10, Kräfte an der Umlenktrommel (unten)
- Bild (10) Gurtkräfte an den Umlenktrommeln
- Bild (11) Lastfall 10, Kräfte am Brückenkopf
- Bild (12) Lastfall 11, Einwirkungen im Bereich S3 – S4
- Bild (13) Lastfall 12, Einwirkungen im Bereich S3 – S4
- Bild (14) Flächenverhältnis des Fachwerks
- Bild (15) s.o. [1.2]
- Bild (16) [1.2]; λ - Ermittlung
- Bild (17) s.o. [1.2]
- Bild (18) Wind y+ S1 – S2
- Bild (19) Wind y+ S2 – S3
- Bild (20) Wind y+ S3 – S4
- Bild (21), [1.8], Wind auf Tonnendächer
- Bild (22) Wind im Bereich S1-S2
- Bild (23) Wind im Bereich S2-S3
- Bild (24) Wind im Bereich S3-S4
- Bild (25) Wind im Bereich S1-S2
- Bild (26) Wind y S1 – S2 gesamt
- Bild (27) Wind y S2 – S3 gesamt
- Bild (28) Wind y S3 – S4 gesamt
- Bild (29) Wind y-
- Bild (30) Wind x-
- Bild (31) Wind y-
- Bild (32) Wind x-

Bild (33) s.o. [1.3]
Bild (34) s.o. [1.3]
Bild (35) Ermittlung der Einflussbreite
Bild (36) Auflagerreaktionen aus Schnee voll
Bild (37) Auflagerreaktionen aus Schnee Wartungstegseite
Bild (38) Auflagerreaktionen aus Schnee Laufstegseite
Bild (39) Lastfall 20, Schnee voll im Bereich S2 – S3
Bild (40) Lastfall 21; Blick in Richtung S4
Bild (41) Lastfall 22; Blick in Richtung S4
Bild (42) s.o. [1.3]
Bild (43) s.o. [3.1]
Bild (44) s.o. [3.1]
Bild (45) Imperfektionen S3
Bild (46) Imperfektionen der Brücke im Bereich S3
Bild (47) Imperfektionen Feld S3-S4; maßgebende Stäbe
Bild (48) Gurtstoss
Bild (49) Gurtstoß ohne Bohrungen
Bild (50) Ansicht Gurtstoss
Bild (51) Ansicht Pfosten
Bild (52) Ansicht Diagonale
Bild (53) Ansicht Diagonale
Bild (54) Ausschnitt Tab.20 [1.6]
Bild (55) Rahmen mit Schweißnähten
Bild (56) Lasteinleitung
Bild (57) Geometrie des Lagerbockes
Bild (58) Kräfte am Lager
Bild (59) Ermittlung des max M [1.6]
Bild(60) Ansicht des Stützenkopfes S3
Bild (61) Lasteinleitung
Bild (62) Schnittkräfte des Stützenkopfpfostens
Bild (63) Ansicht des Stützenkopfpfostens
Bild (64) Stirnplatte
Bild (65) Normalkraft S3
Bild (66) Knoten rechts

Bild (67) Knoten links
Bild (68) Stützung durch die Flansche
Bild (69) Stützung durch den Steg
Bild (70) Stützung durch die Flansche
Bild (71) Stützung durch den Steg
Bild (72) Verformungen am Gesamtsystem
Bild (73) Verformungen, Blickrichtung y-
Bild (74) Verformungen Bereich S3-S4, Blickrichtung z+
Bild (75) Ergebnisverlauf Stabzug 1 (Verformungen)
Bild (76) Ergebnisverlauf Stabzug 3 (Verformungen)
Bild (77) Größte zulässige Erzeugnisdicken t in mm
Bild (78) Einflüsse auf die Anforderung Z_{Ed}
Bild (79) Auflagerreaktionen an der Aufgabestelle
Bild (80) Auflagerreaktionen Stütze S2
Bild (81) Auflagerreaktionen Stütze S3
Bild (82) Auflagerreaktionen am Brückenkopf

2. Tabellenverzeichnis

Tabelle (1) Wind S2

Tabelle (2) Wind S3

Tabelle (3) Fundamentlasten

3. Einleitung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die statische Berechnung (Tragwerksplanung) und die konstruktive Ausführung eines Traggerüstes für eine Bandförderbrücke. Die Stahlfachwerkkonstruktion ist das tragende Element dieser Bandförderanlage und dient zur Aufnahme der Transporteinrichtungen, sowie zu Reparatur- und Wartungsarbeiten. Im Rahmen der Diplomarbeit werden die Bauteile des Tragwerks ausgewählt und statisch nachgewiesen. Den Berechnungen liegen hauptsächlich aktuelle Normen zugrunde, in Ausnahmefällen wird auf ältere Ansätze zurückgegriffen.

Anschließend an die Tragwerksplanung wird eine Übersichtszeichnung mit allen wichtigen konstruktiven Details angefertigt.

3.1 Baubeschreibung

a.) Angaben zum Standort des Bauwerks

Das Bauwerk ist eine Bandbrücke für ein Hartsteinwerk in Thüringen. Es befindet sich in einer Höhe von 420m über normal Null. Für die Berechnung wird deshalb nach DIN 1055 – 4 die Windzone 2 angenommen.

Der charakteristische Wert der Schneelast nach DIN1055 – 5 liegt den Festlegung nach Schneelastzonen zugrunde. Das Bauwerk befindet sich in der Zone 2.

b.) Angaben zur Nutzung des Bauwerks

Das zu berechnende Tragwerk trägt einen Gurtförderer der gebrochene Steine einer bestimmten Korngröße von der Achse S1 zur Achse S4 in einen Silo befördert. Die Förderung erfolgt ausschließlich aufwärts, von S1 (~13m) nach S4 (~28,6m). Von Achse S1 zu Achse S2 beträgt die Neigung des Förderers $5,5^\circ$, von Achse S2 zur Achse S4 beträgt die Neigung $11,1^\circ$.

An beiden Seiten des Förderers befinden sich Stege die zur Wartung dienen.

c.) Abmessungen des Gebäudes

Die Gesamtlänge der Förderbrücke ist 97,5m. Die Tragkonstruktion wird als räumliches Fachwerk ausgebildet. Die Fachwerkshöhe ist 1,7m, die Breite 1,25m. Die Stützen werden als Fachwerkstützen ausgebildet.

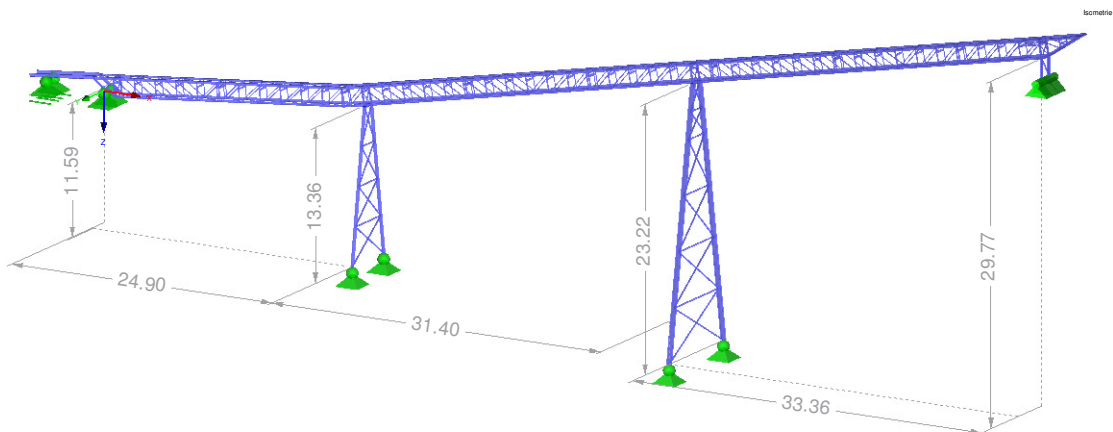


Bild (1) Abmessungen des Bauwerks

d.) Erläuterung der statischen Grundkonzeption

Die Fachwerkbrücke ist ein Durchlaufträger an dessen Aufgabestelle (S1) sich ein Festlager ausgebildet wird. Die Lager anderen Lager (S2 – S4) werden als durch Pendelstützen als Loslager ausgebildet. Zum Abtragen der horizontalen Lasten in der oberen Fachwerkscheibe werden über den Stützen biegesteife Rahmen ausgebildet, die wiederum über einen Kreuzverband die Belastung in die Stützen weiterleiten.

Die Stützen weiten sich konisch nach unten, um die aus dem Biegemoment resultierenden Kräfte besser in das Fundament weiterleiten zu können.

e.) Verwendete Materialien und Baustoffe

Baustahl:	S235J2
	S355ML
Schraubenwerkstoffe:	4.6
	10.9

f.) Baugrundverhältnisse

Es wird angenommen, dass ein Baugrund mit geringen Setzungsverhalten vorliegt, so bei den Erdarbeiten Unregelmäßigkeiten auftreten ist ein Baugrundgutachten von anerkannter Stelle anfertigen zu lassen.

3.2 Allgemeine Grundlagen Stetigförderer

Der in dieser Arbeit betrachtete Stetigförderer ist eine ortsfeste Einrichtung, die das Fördergut auf einem festgelegtem Förderweg von der Aufgabestelle (S1; $h \sim +13\text{m}$) zur Abgabestelle (S4; $h \sim +36\text{m}$), in einer Entfernung von 97,5m, stetig mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt. Es entsteht ein kontinuierlicher Materialfluss.

Der Stetigförderer hat gegenüber den Unstetigförderern wesentliche Vorteile:

- wesentlich höhere Gutfurchsätze,
- das Verhältnis Nutzlast zur Eigenlast des Förderers ist wesentlich günstiger.

Bandförderer

Bei einem Bandförderer dient ein endloses Band als Tragorgan des Fördergutes und gleichzeitig auch als Zugorgan, das um mindestens zwei Umlenkrollen geführt wird. Das Förderband wird zwischen den Umlenkrollen durch Tragrollen gestützt.

Die besonderen Vorteile von Bandförderern sind:

- universeller Förderer für Schütt- und Stückgüter
- größtmögliche Fördergeschwindigkeit → sehr hohe Massendurchsätze
- einfache Konstruktion
- kleiner Laufwiderstand → kleiner Kraftbedarf
- günstiges Verhältnis Eigenmasse – Gutfurchsatz
- geringer Verschleiß der Bauteile
- Stosdämpfung durch elastische Gurte
- Steil- und Kurvenförderung mit Sonderkonstruktionen möglich
- geräuscharmer Betrieb
- relativ einfache Gurtreparaturen

Die Anlage-, Wartungs- und Betriebskosten sind verhältnismäßig niedrig, das heißt die Förderung kann mit Bandförderern besonders wirtschaftlich durchgeführt werden.

Die Nachteile der Bandförderer sind:

- Die Förderneigung ist bei üblicher Ausführung beschränkt
- Empfindlichkeit des Bandes gegen verschiedene Einflüsse:
 - hohe Temperatur
 - chemische Einflüsse

- Verschmutzung der Trommeln und Tragrollen
- unsachgemäße Fördergutaufgabe

Der Gurt ist besonders bei rauem Betrieb sehr leicht Beschädigungen ausgesetzt. Unter der Aufgabestelle kann grobes, scharfkantiges Gut Gurtdurchschläge verursachen. Solche beschädigten Stellen bedürfen einer sofortigen Reparatur, da sie sonst eine Zerstörung des Gurtes zur Folge haben können. Die Lebensdauer des Gurtes ist wesentlich von der Beanspruchungsart abhängig.

Konstruktion des Bandförderers

Bei der einfachsten Ausführung eines Gurtbandförderers befinden sich an beiden Enden des Traggerüsts die Umlenktrommeln, wobei eine als Antriebstrommel und die andere als Spanntrommel, die die erforderliche Vorspannung aufbringt, dient. Bei waagerechten bzw. steigenden Förderern ist es zweckmäßig die Kopftrommel als Antriebstrommel vorzusehen, da in diesem Fall die Laufwiderstände des belasteten Obertrums bzw. die Gurteigenlast in die gleiche Richtung wie die Spannkraft wirken, so dass die Spannkraft leichter ausfällt.

Der Gurtbandförderer wird hinter der Hecktrommel mit dem Fördergut beschickt. Die Gutabgabe erfolgt oft durch Abwurf über die Antriebstrommel (Überkopfabwurf).

Das belastete Obertrum wird in kurzen Abständen von ca. 1 bis 1,5m gestützt. Bei Schüttgut geschieht das meist durch Muldenstationen, bei Stückgut durch erfolgt die Stützung durch flacht Tragrollen. Ein flaches Lasttrum wird für Schüttgüter nur verwendet, wenn ein Abstreicher die Gutabgabe übernimmt, aber auch hier wird der Gurt oft auch erst vor dem Abstreicher abgeflacht.

Die Tragrollenstationen können auch durch eine feste Gleitbahn ersetzt werden, dies ist aber nur nötig, wenn Gurtdurchhänge nicht zulässig sind.

Die Abstützung des unteren Leertrums erfolgt in Abständen bis 6m auf flachen oder zweiteilig gemuldeten Tragrollenstationen. Außerdem können die Tragrollen des Untertrums mit Gummischeiben (Scheibenrollen) versehen werden um einer Verschmutzung des Gurtes entgegenzuwirken. Auch an der Aufgabestation kann es sinnvoll sein Polsterringe auf die Tragrollen aufzuschieben, da dadurch eventuelle Stöße bei der Beschickung gedämpft werden können.

4. Lastannahmen

4.1 Allgemeine Angaben

Die Lastannahmen werden auf Grundlage der DIN 1055, die jeweils gültigen Ausgaben werden in den einzelnen Abschnitten genannt, ermittelt. In einigen Fällen wurden auch andere Lastannahmen zugrunde gelegt, die explizit aufgeführt werden.

Für die Bandbrücke werden folgende Einwirkungen zur Bemessung herangezogen:

- Eigenlasten der Bauteile
- Eigenlasten der Bandförderanlage
- Lasten aus der Förderung
- Verkehrslasten auf den Wartungsstegen
- Windlasten
- Schneelasten
- Vereisungslasten
- Zusatzlast aus Verschmutzung der Anlage

Standort der Anlage:

Der Standort der Förderanlage ist ein Hartsteinwerk in Thüringen, das sich in einer Höhe von 400m über normal Null befindet.

Eigenlasten der Bauteile

Das Eigengewicht der Bauteile aus Stahl wird im Stabwerkprogramm RSTAB automatisch erfasst, als Grundlage gilt die in DIN 1055-1 angegebene Wichte von Stahl:

$$\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

Als Lauf-, und Wartungsstegabdeckungen werden Gitterroste verwendet, deren Eigengewicht ist nach Herstellerangaben [Anlage 3] mit 0,187 kN/m² anzusetzen.

Eigenlasten aus Bandförderanlage

Fördergurt, Rollenstationen und Untergurtrollen	$q_k = 0,4 \text{ kN/m}$
Obergurtabdeckung	$q_k = 0,25 \text{ kN/m}$
Umlenktrommel (unten)	$Q_k = 1,8 \text{ kN}$
Spanngewicht	$F_{Sp} = 25 \text{ kN}$
Materialaufführung	$F_{Ma} = 8 \text{ kN}$
Antriebstrommel ($d = 650\text{mm}$)	$F_A = 5,5 \text{ kN}$
Getriebe und Motor	$F_G = 13 \text{ kN}$
Abwurfschurre	$F_{ab} = 5 \text{ kN}$

Lasten aus der Förderung

Fördergutdurchsatz:	$Q = 400 \text{ t/h} = 111,1 \text{ kg/s}$
Bandgeschwindigkeit	$v = 1,5 \text{ m/s}$
Masse des Förderstromes	$m = Q / v = 111,1 \text{ kg/s} / 1,5 \text{ m/s}$ $m = 74,07 \text{ kg/m}$
Belastung der Förderanlage	$q_k \sim 0,75 \text{ kN/m}$

Verkehrslasten auf den Lauf- und Wartungsstegen

Belag der Stege

Grundlage der Bemessung der Lauf- und Wartungsstege ist nicht die DIN 1055-3, sondern die DIN EN ISO 14122-2 [1.4] Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen. Nach 4.2.5 dieser Norm beträgt die Flächenlast auf die Tragkonstruktion $2,0 \text{ kN/m}^2$, zusätzlich ist der Bodenbelag an ungünstigster Stelle, auf eine Fläche von $200 \times 200\text{mm}$ mit einer Einzellast von $1,5 \text{ kN}$ zu belasten.

Geländer der Stege:

Grundlage der Bemessung der Geländer ist die DIN EN ISO 14122-3 [1.5]. Nach dieser Norm ist es auch weiterhin möglich ein Geländer mit einer Horizontallast von $0,5 \text{ kN/m}$ in Höhe der Handlaufachse zu bemessen. Dies wurde hier für die Berechnung angenommen.

Windlasten

Die Windlasten wurden hauptsächlich anhand der DIN 1055-4 [1.2] ermittelt. Bedingt dadurch dass in dieser Norm keine Angaben zu Windlasten auf Tonnendächer und Wind in Brückenlängsrichtung gemacht werden wurde zur Festlegung entsprechender Lasten auf die TGL 32274 / 07 [1.8] zurückgegriffen.

Schneelasten

Die Schneelastbestimmung erfolgte nach DIN 1055-5 [1.3] Hierzu muss festgehalten werden dass die Schneelast nur auf die Obergurtabdeckung angesetzt wurde. Auf die Lauf- und Wartungsstege wird der Schnee nicht angesetzt, da er nicht mit der Verkehrslast überlagert werden muss und im Vergleich dieser beiden Lastfälle die Verkehrslast die Oberhand behält.

Vereisungslasten

Die Ermittlung der Vereisungslasten wurde nach DIN 1055-5 [1.3] durchgeführt. Nach Auswertung der Lastkombinationsergebnisse wurde dieser Lastfall aus der Berechnung gelöscht, da er bei dieser Konstruktion zu keiner Erhöhung der Schnittgrößen beitrug.

4.2 Lastfälle

4.2.1 Eigenlasten (LF1 – LF5)

Aus der Aufgabenstellung konnten folgende Angaben entnommen werden:

Fördergurt, Rollenstationen und Untergurtrollen:	0,40	kN/m
Obergurtabdeckung:	0,25	kN/m
Umlenktrommel:	1,8	kN
Spanngewicht:	25,0	kN
Materialführung an der Aufgabe:	8,0	kN
Antriebstrommel (Durchmesser 650mm):	5,5	kN
Getriebe und Motor:	13,0	kN
Abwurfschurre:	5,0	kN

Eigenlasten der Bauelemente der Förderbrückenkonstruktion:

Lastfall 1

Hauptteile der Konstruktion

Die Eigenlasten der in der Konstruktion verwendeten Bauteile werden automatisch vom Programm RSTAB den verwendeten Profilen zugewiesen. Auf eine Aufschlüsselung wird hier verzichtet.

Lastfall 2

Eigenlasten der Förderanlage I

Im Normalbereich

Fördergurt, Rollenstationen und Untergurtrollen: $q_{E1} = 0,40 \text{ kN/m}$

Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile: $n = 2$

Die vorgegebenen Lasten werden als Linienlasten auf die Obergurte der Fachwerkbrücke angesetzt.

$$q_k = q_{E1} / n$$

$$q_k = 0,4 / 2$$

$$q_k = \underline{0,2 \text{ kN/m}}$$

Im Aufgabebereich

Bedingt durch den kleineren Tragrollenabstand wird die Eigenlast mit dem Faktor 2,5 multipliziert.

Fördergurt, Rollenstationen und Untergurtrollen: $q_{E1} = 1,00 \text{ kN/m}$

Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile: $n = 2$

$$q_k = q_{E1} / n$$

$$q_k = 1,0 / 2$$

$$q_k = \underline{0,5 \text{ kN/m}}$$

LF2: Fördergurt, Rollenstationen und Untergurtrolle

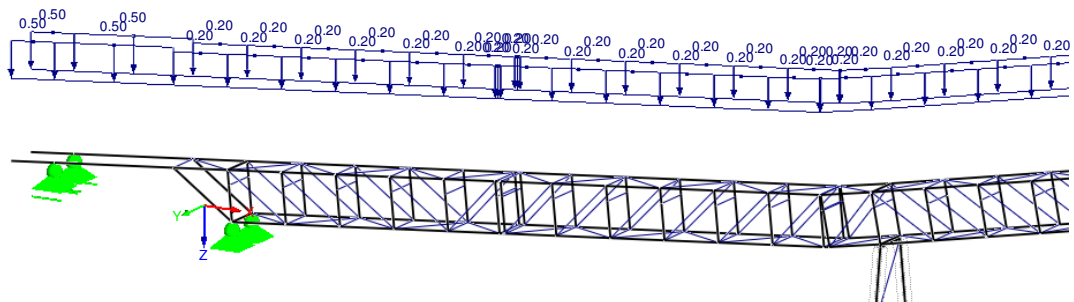


Bild (2) Lastfall 2 im Bereich S1 – S2

Lastfall 3

Eigenlasten der Förderanlage II

Materialführung

Die Materialführung an der Aufgabestelle belastet die Konstruktion mit einer Eigenlast von 8 kN. Die Länge der Materialaufgabe wird mit 6,0 m angenommen.

Materialführung:	$Q_{M1} = 8 \text{ kN}$
Länge der Materialführung:	$l = 6,0 \text{ m}$
Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile:	$n = 2$

$$q_k = Q_{M1} / (l * n)$$
$$q_k = 8,0 / (6,0 * 2)$$
$$q_k = \underline{0,667 \text{ kN/m}}$$

Umlenktrommel

Die Umlenktrommel hat eine Eigenlast von 1,8 kN, die gleichmäßig auf die beiden Längsträger wirkt.

Umlenktrommel:	$Q_U = 1,8 \text{ kN}$
Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile:	$n = 2$

$$Q_k = Q_U / n$$
$$Q_k = 1,8 / 2$$
$$Q_k = \underline{0,9 \text{ kN}}$$

1/2 Materialanlage (Trommel, Spanngabel)

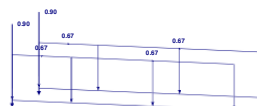


Bild (3) Lastfall 3 (Materialführung und Umlenktrommel)

Förderbrückenkopf

Die Antriebstrommel hat eine Eigenlast von 5,5 kN, die Abwurfschurre eine Eigenlast von 5,0 kN, die gleichmäßig auf die beiden Längsträger wirkt. Ebenso wird die Last aus Getriebe und Motor im Kopfpunkt der Förderbrücke eingeleitet.

Antriebstrommel:	$Q_U = 5,5 \text{ kN}$
Abwurfschurre:	$Q_A = 5,0 \text{ kN}$
Getriebe und Motor	$Q_M = 13 \text{ kN}$
Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile:	$n = 2$

$$Q_k = (Q_U + Q_A + Q_M) / n$$

$$Q_k = (5,5 + 5,0 + 13) / 2$$

$$Q_k = \underline{11,75 \text{ kN}}$$

LP3: Materialausgabe, Trommel, Spangewicht

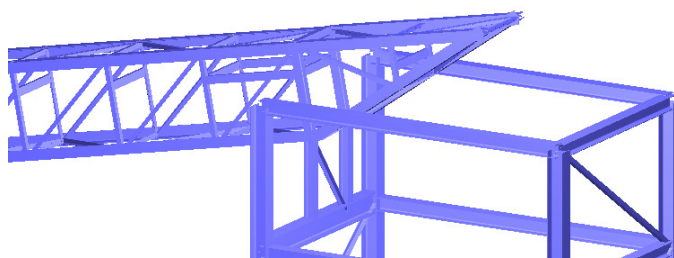
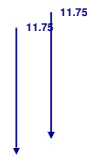


Bild (4) Lastfall 3 Brückenkopf

Lastfall 4

Nebenteile der Konstruktion

Laufsteg

Die Eigenlasten die durch den Laufsteg in die Konstruktion eingebracht werden, sind in Anlage 3 aufgeführt. Relevant für die Bemessung des Haupttragwerks ist hier der Lastfall 2 (Ermittlung der Einwirkung) in dem, ohne Teilsicherheitsbeiwerte, die Auflagerreaktionen für die Anschlusspunkte des Steges an die Fachwerkbrücke ermittelt werden.

Die Lasten werden nicht explizit als Eigengewicht angesetzt, sondern als zwei Verkehrslastfälle betrachtet.

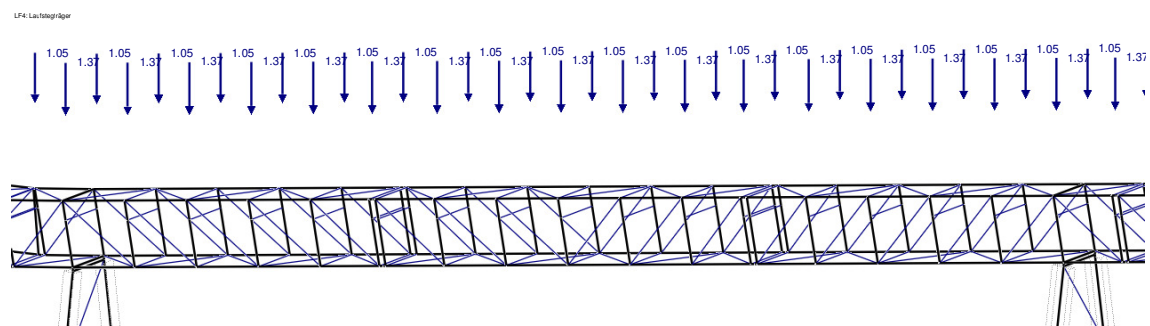


Bild (5) Eigenlast aus den Stegen im Bereich S2 – S3

Lastfall 5

Obergurtabdeckung

Aus der Aufgabenstellung ist die Last der Obergurtabdeckung zu entnehmen, sie ist mit $g_k = 0,25 \text{ kN/m}$ angegeben. Diese wird als lotrechte Nutzlast auf die beiden Obergurte angesetzt. Eventuelle Spreizkräfte der Haube bleiben unberücksichtigt.

Meterlast der Haube:

$$g_k = 0,25 \text{ kN/m}$$

Anzahl der Lastaufnehmenden Bauteile:

$$n = 2$$

$$q_k = g_k / n$$

$$q_k = 0,25 / 2$$

$$q_k = \underline{0,125 \text{ kN/m}}$$

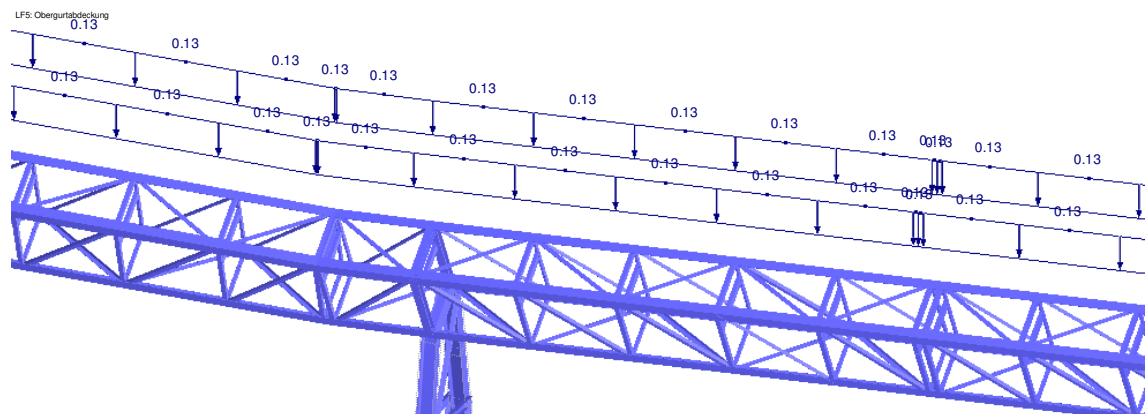


Bild (6) Eigenlast der Haube im Bereich S2

4.2.2 Verkehrslasten (LF10 – LF12)

Lastfall 10

Lasten durch das Fördergut

Aus der Aufgabenstellung sind folgende relevante Parameter zu entnehmen:

Fördergutdurchsatz Q: 400 t/h ^ 111,1 kg/s

Bandgeschwindigkeit v: 1,5 m/s

Daraus ergibt sich eine Förderstrommasse pro Meter

$$m'_{L,N} = Q / v$$

$$m'_{L,N} = 111,1 / 1,5$$

$$m'_{L,N} = 74,07 \text{ kg/m} \rightarrow q_{L,N} = 0,75 \text{ kN/m}$$

Durch die Funktionsweise des Gurtförderers ist hier von einem kontinuierlichen Materialtransport auszugehen. Das Fördergut besitzt im Vergleich zu der Bandbrücke selbst auch ein recht geringes Gewicht. Bedingt dadurch kann auf eine dynamische Untersuchung verzichtet werden. Das Fördergut wird aber zwischen den Tragrollen auf dem Fördergurt leicht absinken und auf die Tragrollen wieder angehoben. Um diesen Effekt zu berücksichtigen wird meterbezogene Masse des Förderstromes mit einem Schwingbeiwert beaufschlagt. Der Schwingbeiwert φ wird hier mit 1,1 festgelegt. Dieser wird im Programm Rstab als Lastfallfaktor bezeichnet.

Daraus folgt: $q_{k,L,N,\varphi} = q_{L,N} * \varphi / n$

$$q_{k,L,N,\varphi} = 0,75 * 1,1 / 2$$

$$q_{k,L,N,\varphi} = \underline{0,413 \text{ kN/m}}$$

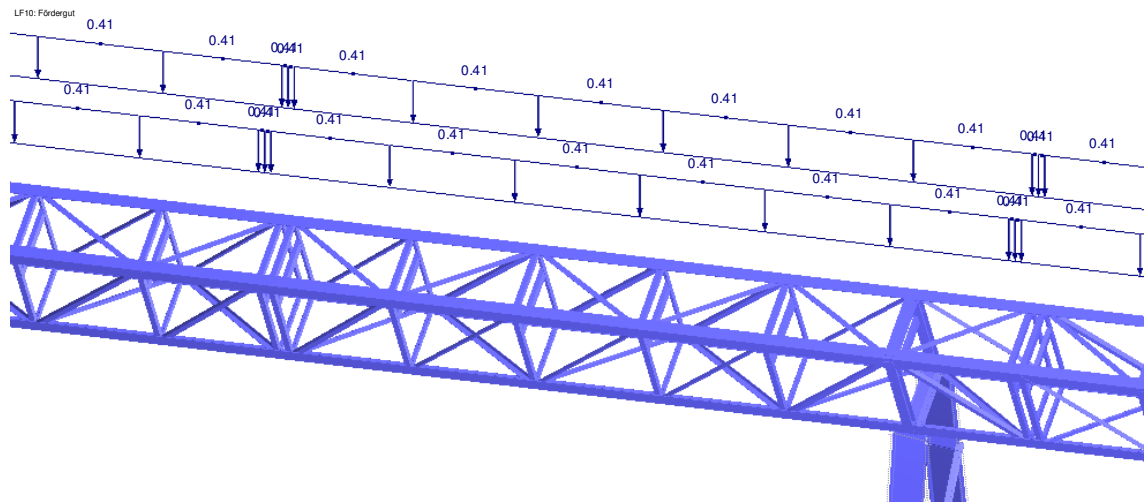


Bild (7) Verkehrslast aus Fördergut; Bereich S3

Lasten durch die Förderung

Die Last aus dem Verlauf der Gurtkraft wird vereinfachend wie folgt angenommen. An der Umlenktrommel sei die Gurtkraft im Ober- und Untertrum gleich der Hälfte der aus dem Spannungsgewicht resultierenden Kraft (im Folgenden als $2 \cdot F_{Sp}$ bezeichnet). An den Umlenktrommeln wirkt F_{Sp} in die jeweilige Richtung und wird zu einer resultierenden Zusammengefasst. An der Antriebstrommel wirkt im Untertrum F_{Sp} und am Obertrum $F_{Sp} + F_w$ (F_w = Summe aller Bewegungswiderstände) deren Resultierende an der Antriebsrollenachse.

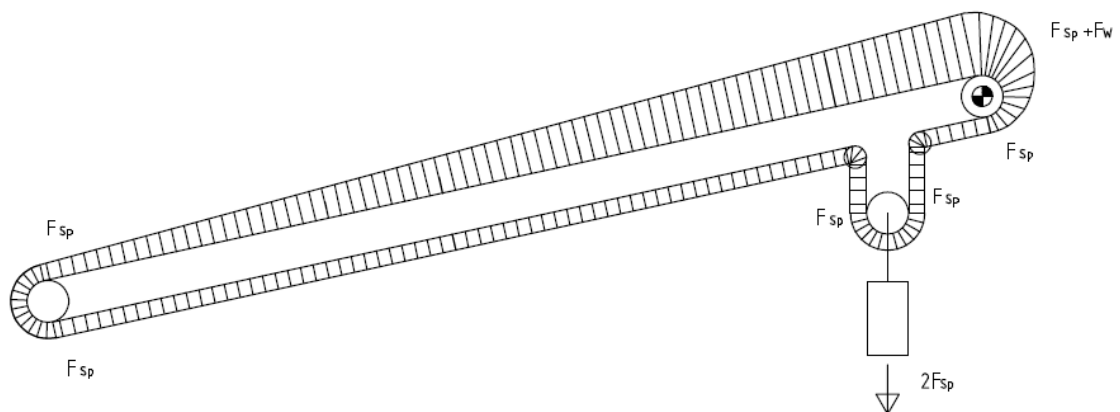


Bild (8) Schematischer Gurtkraftverlauf

Am Kopfpunkt der Förderbrücke wirken die Spannkraft des Gurttes infolge Förderung und die Belastung aus dem Antriebsmoment der Antriebstrommel.

Die maximale Bandzugkraft im Obertrum am Förderkopf beträgt $F_{Gmax} = F_{Sp} + F_w = 83,33 \text{ kN}$. Die anderen Gurtzugkräfte (Umlenkrolle, Spanntrommel) werden pauschal mit $F_{Sp} = 12,5 \text{ kN}$ angenommen.

Belastung an der Umlenktrummel (unten)

Spanngewicht: $F_{Sp} = 12,5 \text{ kN}$

Winkel: $\alpha = 5,5^\circ$

Anzahl der Gurte: $n = 2$

$$F_{x,U} = \cos\alpha * F_{Sp} * n$$

$$F_{x,U} = \cos 5,5 * 12,5 * 2$$

$$F_{x,U} = \underline{24,88 \text{ kN}}$$

$$F_{z,U} = \sin\alpha * F_{Sp} * n$$

$$F_{z,U} = \sin 5,5 * 12,5 * 2$$

$$F_{z,U} = \underline{2,396 \text{ kN}}$$

UF10: Fördergut

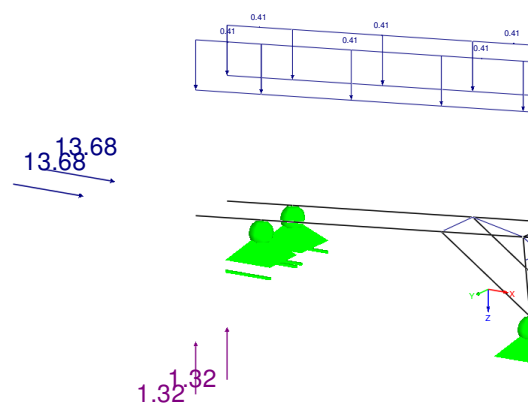


Bild (9) Lastfall 10, Kräfte an der Umlenktrummel (unten)

Belastung an der Antriebstrommeltrommel (oben)

Spanngewicht: $F_{Sp} = 12,5 \text{ kN}$

Winkel: $\alpha = 11,1^\circ$

Anzahl der Gurte: $n = 2$

$$F_{x,O} = \cos \alpha * F_{Sp} * n$$

$$F_{x,O} = \cos 11,1 * 12,5 * 2$$

$$F_{x,O} = \underline{24,53 \text{ kN}}$$

$$F_{z,O} = \sin \alpha * F_{Sp} * n$$

$$F_{z,O} = \sin 11,1 * 12,5 * 2$$

$$F_{z,O} = \underline{4,813 \text{ kN}}$$

Belastung für die Umlenktrommeln am Spanngewicht

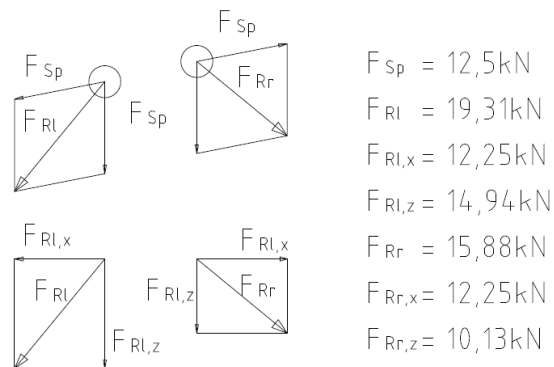


Bild (10) Gurtkräfte an den Umlenktrommeln

Kräftegleichgewicht in globaler x - Richtung

$$\Sigma F_{x \rightarrow} = 0 = -F_{Rl,x} + F_{Rr,x}$$

$$\Sigma F_{x \rightarrow} = 0 = -12,5 + 12,5$$

$$\rightarrow R_{x \rightarrow} = \underline{0 \text{ kN}}$$

Kräftegleichgewicht in globaler z - Richtung

$$\Sigma F_z \uparrow = 0 = -F_{Rl,z} - F_{Rr,z} + R_z$$

$$\Sigma F_z \uparrow = 0 = -14,94 - 10,13 + R_z$$

$$\rightarrow R_z \uparrow = 14,94 + 10,13$$

$$R_z \uparrow = \underline{25,07 \text{ kN}}$$

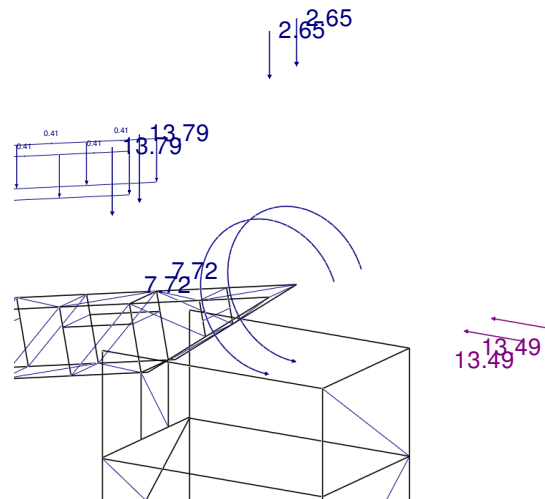


Bild (11) Lastfall 10, Kräfte am Brückenkopf

Lasten für die Stege

Lotrechte Nutzlast [1.4]

Nach DIN EN ISO 14122-2 4.2.5 ist für die Laufstege eine gleichmäßig verteilte Flächenlast von $2,0 \text{ kN/m}^2$ anzusetzen. Für den Bodenbelag muss zusätzlich eine Einzellast von $1,5 \text{ kN}$ an der ungünstigsten Stelle zum Ansatz kommen.

Horizontale Nutzlast [1.5]

Nach DIN EN ISO 14122-3 Änderung b.) ist es auch weiterhin möglich die horizontale Verkehrslast mit $0,5 \text{ kn/m}$ anzunehmen. Dies wird hier vollzogen.

Lastfall 11

Verkehrslast Laufsteg

Die Berechnung der Stege erfolgt separat und ist in [] zu finden. Die Einwirkungen auf die Förderbrücke sind die Auflagerreaktionen dieser Anlage.

LF11: Verkehrslast Laufsteg

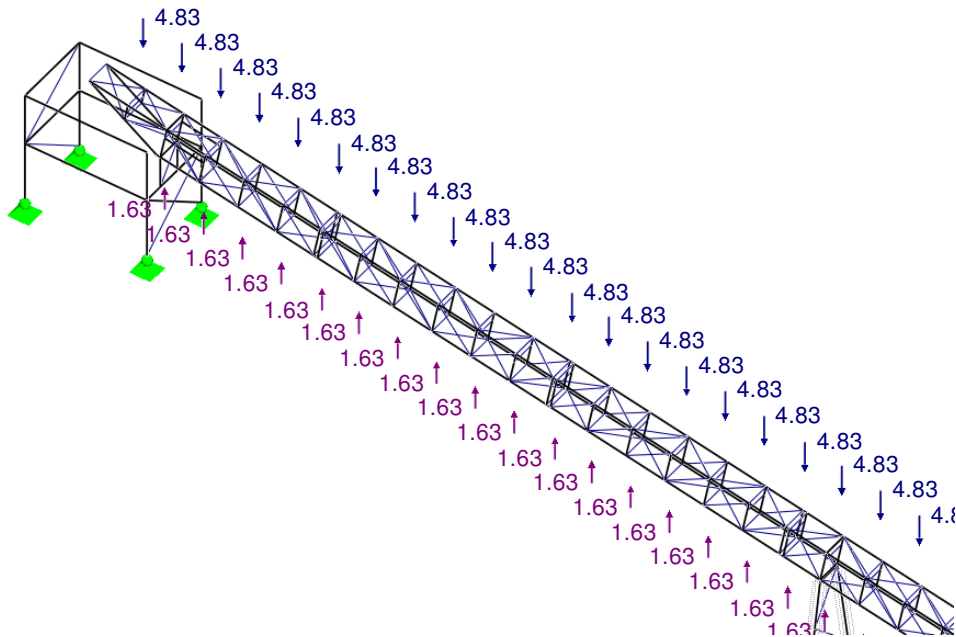


Bild (12) Lastfall 11, Einwirkungen im Bereich S3 – S4

Lastfall 12

Verkehrslast Wartungssteg

LF12: Verkehrslast Wartungssteg

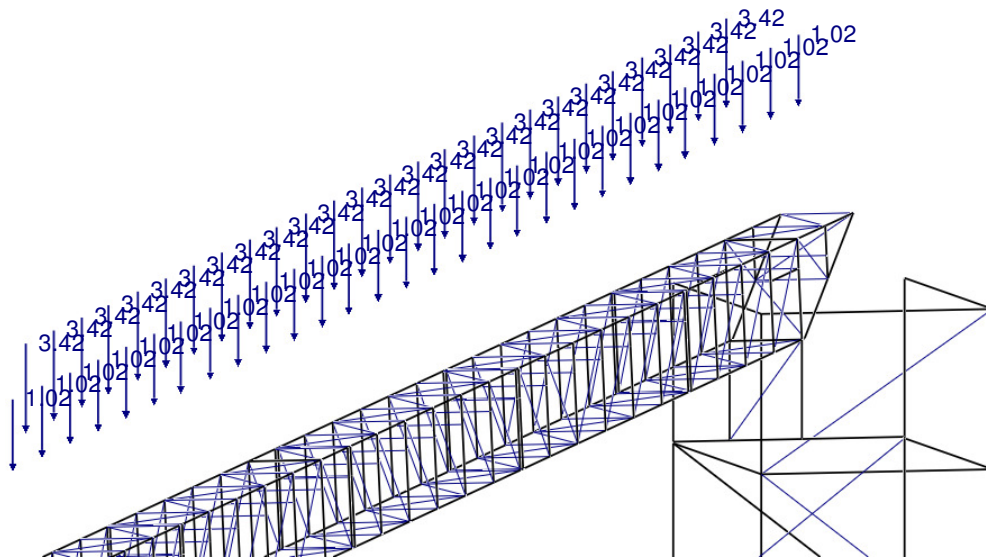


Bild (13) Lastfall 12, Einwirkungen im Bereich S3 – S4

4.2.3 Windlasten (LF15 – LF18)

Ortsangaben: Windzone: 2
Geländekategorie: III

Windkräfte für das Fachwerk

Wind quer zum Bauwerk

Bauwerkshöhe: S1-S2: 13,50m - 15,20m $\rightarrow z \sim 12,5\text{m}$
S2-S3: 15,20m - 27,00m $\rightarrow z \sim 17,0\text{m}$
S3-S4: 27,00m - 35,50m $\rightarrow z \sim 31,0\text{m}$

Windgeschwindigkeit v_{ref} : 25,0 m/s
Geschwindigkeitsdruck q_{ref} : 0,39 kN/m²

Böengeschwindigkeitsdruck $q(z)$ (Gleichung (11))

$$q(z) = 1,7 * q_{\text{ref}} * (z / 10)^{0,37}$$

$$\text{mit: } q_{\text{ref}} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$z = \text{Bauwerkshöhe s.o.}$$

$$q(\text{S1-S2}) = 1,7 * 0,39 * (12,5 / 10)^{0,37}$$

$$q(\text{S1-S2}) = \underline{0,72 \text{ kN/m}^2}$$

$$q(\text{S2-S3}) = 1,7 * 0,39 * (17,0 / 10)^{0,37}$$

$$q(\text{S2-S3}) = \underline{0,81 \text{ kN/m}^2}$$

$$q(\text{S3-S4}) = 1,7 * 0,39 * (31,0 / 10)^{0,37}$$

$$q(\text{S3-S4}) = \underline{1,00 \text{ kN/m}^2}$$

Kraftbeiwerte c_f für Fachwerke (Gliederungspunkt 12.9)

$$c_f = c_{f,0} * \Psi_\lambda$$

Grundkraftbeiwert $c_{f,0}$ für räumliche Fachwerke (Bild 23)
mit dem Völligkeitsgrad φ

$$\varphi = A / A_C \quad \text{für einen 2m breiten Bereich}$$

mit: A = Summe der projizierten Flächen

$A_C = h * b$ (eingeschlossene Fläche des betrachteten Bereichs)

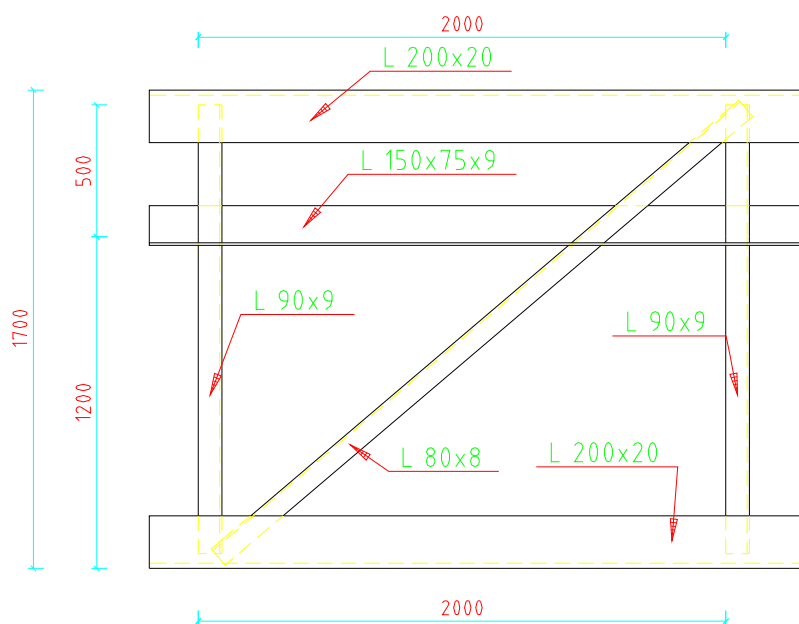


Bild (14)
Flächenverhältnis des
Fachwerks

$$\begin{aligned} A &= 2,0\text{m} * 0,2\text{m} \\ &+ 2,0\text{m} * 0,2\text{m} \\ &+ 1,7\text{m} * 0,09\text{m} \\ &+ \underline{2,62\text{m} * 0,08\text{m}} \\ &= \underline{1,163\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$A_C = 1,7\text{m} * 2\text{m}$$

$$A_C = \underline{3,4\text{m}^2}$$

$$\varphi = 1,163 \text{ m}^2 / 3,4 \text{ m}^2$$

$$\varphi = 0,342$$

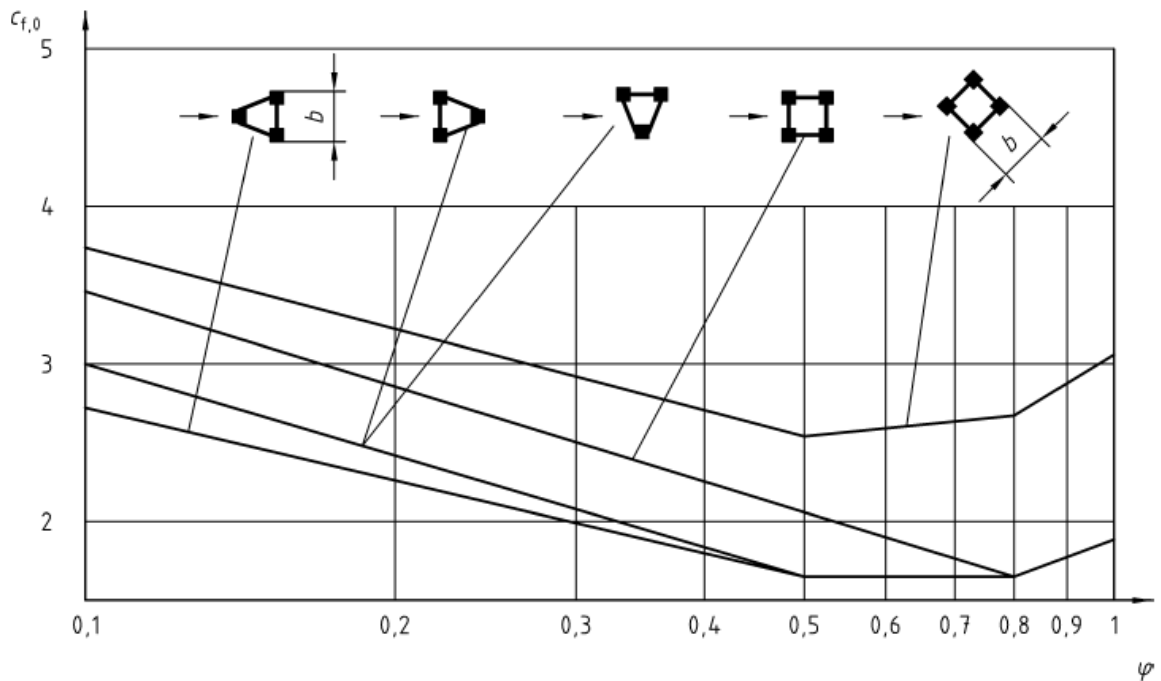


Bild 23 — Grundkraftbeiwert $c_{f,0}$ für ein räumliches Fachwerk aus abgewinkelten und scharfkantigen Profilen in Abhängigkeit vom Völligkeitsgrad φ

Bild (15) s.o. [1.2]

→ $c_{f,0} = 2,4$

Abminderungsfaktor Ψ_λ (Bild 26)

mit der effektiven Schlankheit λ (Tab. 16, Zeile 2)

hier wird die gesamte Länge der Konstruktion zugrunde gelegt (~97,5m)

2	<p>für $b \leq l$</p>	<p>Für polygonale Querschnitte: für $l \geq 50$ m ist $\lambda = 1,4 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend für $l < 15$ m ist $\lambda = 2 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend</p>
---	----------------------------------	---

Bild (16) [1.2]; λ - Ermittlung

$$\lambda = 1,4 \cdot 97,5 / 1,7$$

$$\lambda = 80,29 > 70 \rightarrow \underline{70 \text{ ist maßgebend}}$$

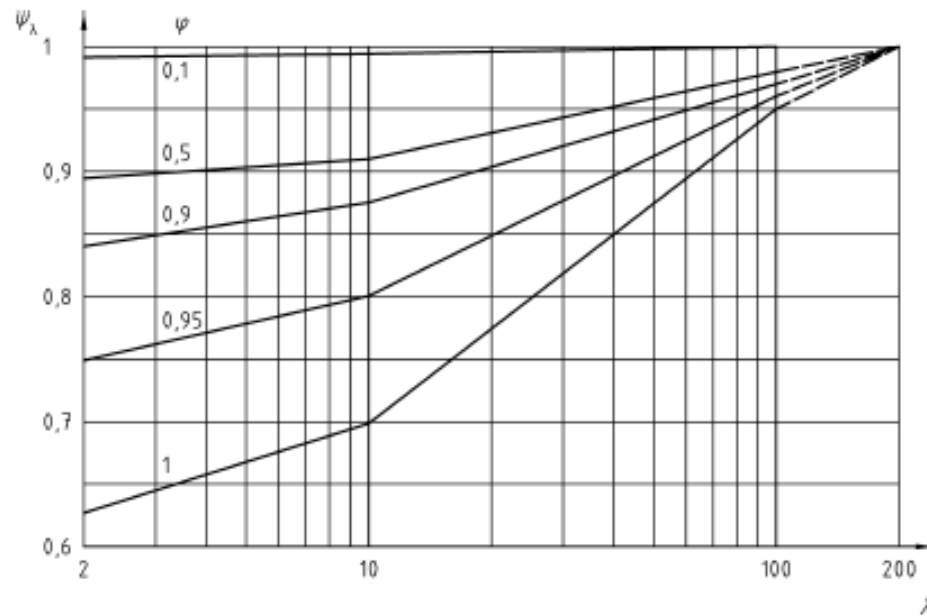


Bild 26 — Abminderungsfaktor ψ_λ in Abhängigkeit von der effektiven Schlankheit λ und für verschiedene Völligkeitsgrade φ

Bild (17) s.o. [1.2]

$$\rightarrow \Psi_\lambda = 0,975$$

Damit ergibt sich folgender Kraftbeiwert

$$c_f = c_{f,0} * \Psi_\lambda$$

$$c_f = 2,4 * 0,975$$

$$c_f = \underline{2,34}$$

Variante 1.: statische Ersatzlast F_w

$$F_w = c_f * q(z) * A_{ref}$$

mit A_{ref} = projizierte Fläche (2m) * Felderanzahl

$$F_w(S1-S2) = 2,34 * 0,72 * 1,163 * 12,5$$

$$F_w(S1-S2) = \underline{24,49 \text{ kN}}$$

$$F_w(S1-S2) = 2,34 * 0,81 * 1,163 * 16$$

$$F_w(S1-S2) = \underline{35,27 \text{ kN}}$$

$$F_w(S1-S2) = 2,34 * 1,0 * 1,163 * 17$$

$$F_w(S1-S2) = \underline{46,26 \text{ kN}}$$

Variante 2.: statische Linienlast q_w

Die statische Ersatzlast F_w wird auf die beiden Fachwerkgurte projiziert, hierbei wird der Obergurt mit 6/10 der Belastung beaufschlagt. Der Rest (4/10) wird in den Untergurt eingeleitet. Die Laufstegträger werden nicht mit einer Windlast beaufschlagt.

$$q_w = F_w / l$$

$$q_{w,O} = q_w * 0,6$$

$$q_{w,U} = q_w * 0,4$$

Windlast im Bereich S1 – S2

$$q_{wF}(S1-S2) = 24,49 / 25$$

$$q_{wF}(S1-S2) = 0,9976 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,OF}(S1-S2) = 0,998 \text{ kN/m} * 0,6$$

$$q_{w,OF}(S1-S2) = \underline{0,5986 \text{ kN/m}}$$

$$q_{w,UF}(S1-S2) = 0,998 \text{ kN/m} * 0,4$$

$$q_{w,UF}(S1-S2) = \underline{0,399 \text{ kN/m}}$$

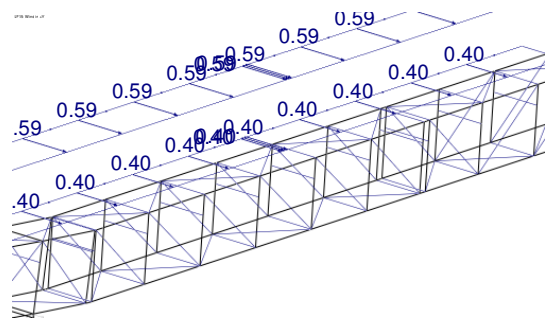


Bild (18) Wind $y+$ S1 – S2

Windlast im Bereich S1 – S2

$$q_{wF}(S2-S3) = 35,27 / 32$$

$$q_{wF}(S2-S3) = 1,012 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,OF}(S2-S3) = 1,012 \text{ kN/m} * 0,6$$

$$q_{w,OF}(S2-S3) = \underline{0,6072 \text{ kN/m}}$$

$$q_{w,UF}(S2-S3) = 1,012 \text{ kN/m} * 0,4$$

$$q_{w,UF}(S2-S3) = \underline{0,4048 \text{ kN/m}}$$

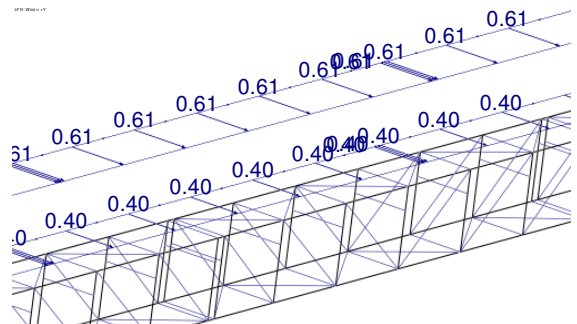


Bild (19) Wind $y+$ S2 – S3

Windlast im Bereich S1 – S2

$$q_{wF}(S3-S4) = 46,26 / 36$$

$$q_{wF}(S3-S4) = 1,285 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,OF}(S3-S4) = 1,285 \text{ kN/m} * 0,6$$

$$q_{w,OF}(S3-S4) = \underline{0,771 \text{ kN/m}}$$

$$q_{w,UF}(S3-S4) = 1,285 \text{ kN/m} * 0,4$$

$$q_{w,UF}(S3-S4) = \underline{0,513 \text{ kN/m}}$$

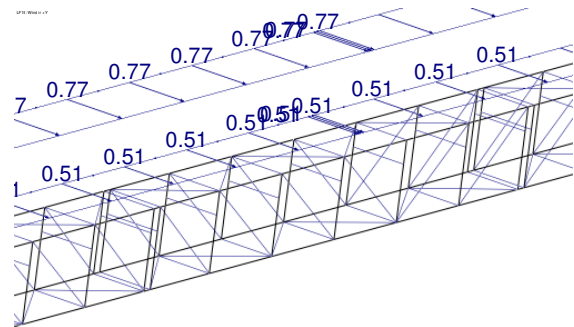


Bild (20) Wind y+ S3 – S4

Windkraft auf die Obergurtabdeckung [1.8]

Durch das Fehlen der Windlastannahme für Tonnendächer wurde auf die TGL 32274/7 zurückgegriffen. In Tabelle 4 Nr. 12. wird ein solches Tonnendach behandelt.

Ermittlung des aerodynamischen Beiwertes

f / b und

$h / b \rightarrow$ Beiwertermittlung nach Tabelle

Tonnenhöhe $f = 0,8 \text{ m}$

Tonnenbreite $b = 1,25 \text{ m}$

UK Tonne $h > 10 \text{ m}$

$$0,8 \text{ m} / 1,25 \text{ m} = \underline{0,64}$$

$$10 \text{ m} / 0,8 \text{ m} = \underline{12,5}$$

Daraus ergeben sich die folgenden Beiwerte:

$$c_1 = +0,7$$

$$c_2 = -1,2$$

$$c_s = +0,0$$

und den Beiwert $-0,4$ für die Leeseite.

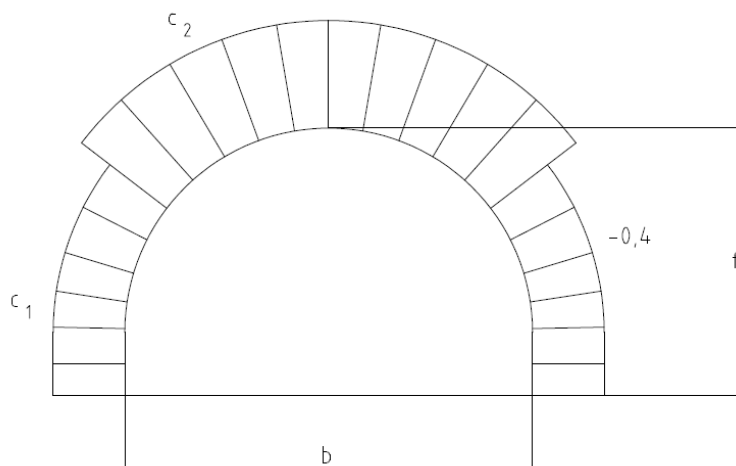


Bild (21);[1.8], Wind auf Tonnendächer

Die Bereiche c_1 und die Leeseite erstrecken sich über die 0,7-fache Tonnenhöhe.

Die Beiwerte werden mit dem jeweiligen Böengeschwindigkeitsdruck multipliziert um daraus eine Windlast zu ermitteln.

Daraus ergeben sich folgende Lastbilder mit den dazugehörigen Auflagerreaktionen. Die Auflagerreaktionen werden als Einwirkungen auf die Bandbrückenkonstruktion in zwei Lastfällen berücksichtigt, nämlich Wind $y+$ und Wind $y-$.

Daraus resultieren die folgenden Auflagerreaktionen als Einwirkung für das Tragwerk. Die horizontalen Auflagerreaktionen werden zusammengefasst und auf der Luvseite auf den Obergurt als Einwirkung angesetzt. Die vertikalen Auflagerreaktionen werden vernachlässigt.

$$q_{w1}(S1-S2) = q(S1-S2) * c1$$

$$q_{w1}(S1-S2) = 0,72 \text{ kN/m}^2 * 0,7$$

$$q_w(S1-S2) = \underline{0,504 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{w2}(S1-S2) = q(S1-S2) * c2$$

$$q_{w2}(S1-S2) = 0,72 \text{ kN/m}^2 * (-1,2)$$

$$q_w(S1-S2) = \underline{-0,864 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_w(S1-S2) = q(S1-S2) * (-0,4)$$

$$q_w(S1-S2) = 0,72 \text{ kN/m}^2 * (-0,4)$$

$$q_w(S1-S2) = \underline{-0,288 \text{ kN/m}^2}$$

LP1
Lagerreaktionen

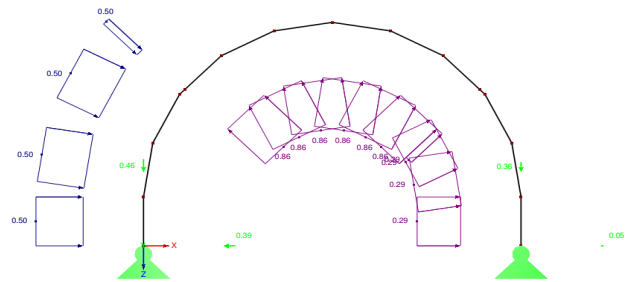


Bild (22) Wind im Bereich S1-S2

$$R_h(S1-S2) = \underline{0,44 \text{ kN/m}}$$

$$q_{w1}(S2-S3) = q(S1-S2) * c1$$

$$q_{w1}(S2-S3) = 0,81 \text{ kN/m}^2 * 0,7$$

$$q_w(S2-S3) = \underline{0,567 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{w2}(S2-S3) = q(S1-S2) * c2$$

$$q_{w2}(S2-S3) = 0,81 \text{ kN/m}^2 * (-1,2)$$

$$q_w(S2-S3) = \underline{-0,972 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_w(S2-S3) = q(S1-S2) * (-0,4)$$

$$q_w(S2-S3) = 0,81 \text{ kN/m}^2 * (-0,4)$$

$$q_w(S2-S3) = \underline{-0,324 \text{ kN/m}^2}$$

LP2
Lagerreaktionen

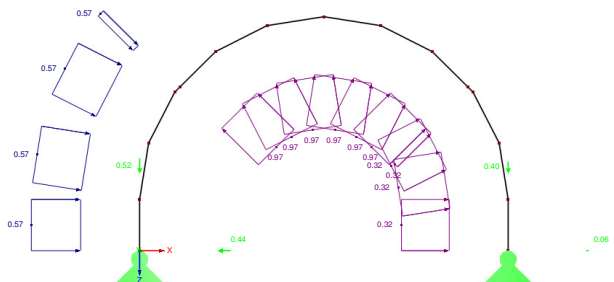


Bild (23) Wind im Bereich S2-S3

$$R_h(S2-S3) = \underline{0,50 \text{ kN/m}}$$

$$q_{w1}(S3-S4) = q(S1-S2) * c1$$

$$q_{w1}(S3-S4) = 1,0 \text{ kN/m}^2 * 0,7$$

$$q_{w1}(S3-S4) = \underline{0,7 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{w2}(S3-S4) = q(S1-S2) * c2$$

$$q_{w2}(S3-S4) = 1,0 \text{ kN/m}^2 * (-1,2)$$

$$q_{w2}(S3-S4) = \underline{-1,2 \text{ kN/m}^2}$$

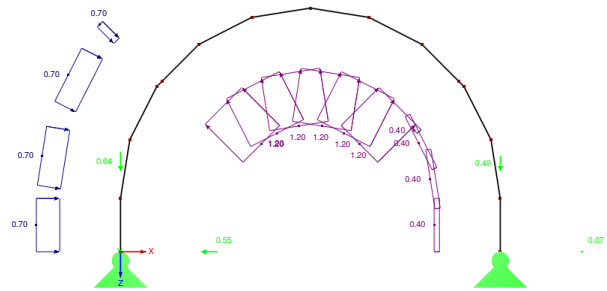


Bild (24) Wind im Bereich S3-S4

$$q_w(S3-S4) = q(S1-S2) * (-0,4)$$

$$q_w(S3-S4) = 1,0 \text{ kN/m}^2 * (-0,4)$$

$$q_w(S3-S4) = \underline{-0,4 \text{ kN/m}^2}$$

$$R_h(S3-S4) = \underline{0,62 \text{ kN/m}}$$

Wind in Brückenlängsrichtung [1.8]

Damit ergeben sich für die einzelnen Bereiche folgende Lasten

$$q_{wO}(x) = q_{wOF}(x) + R_h(x)$$

$$q_{wU}(x) = q_{wUF}(x)$$

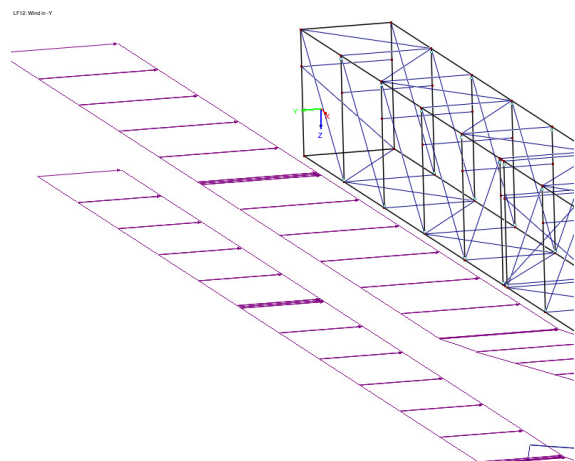


Bild (25) Wind im Bereich S1-S2

Stützen

Siehe unten (Wind in Brückenlängsrichtung)

Lastfall 15

Wind y+

Die Belastung dieses Lastfalles wird hier nicht aufgeführt, denn sie entspricht dem Lastfall 16, wobei die Richtung entgegengesetzt ist.

Lastfall 16

Wind y-

Hier sind die Belastungen der einzelnen Bereiche berechnet und dargestellt.

Bereich S1 – S2

$$q_{wO}(S1-S2) = q_{wOF}(S1-S2) + R_h(S1-S2)$$

$$q_{wO}(S1-S2) = 0,5986 + 0,44$$

$$q_{wO}(S1-S2) = \underline{1,039 \text{ kN/m}}$$

$$q_{wU}(S1-S2) = q_{wUF}(S1-S2)$$

$$q_{wU}(S1-S2) = \underline{0,399 \text{ kN/m}}$$

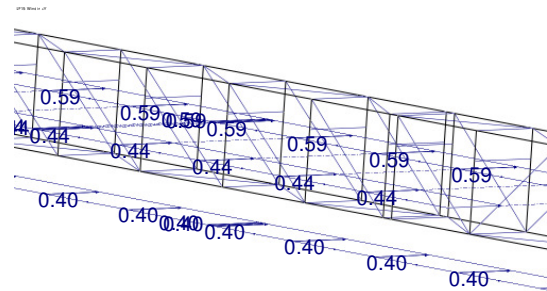


Bild (26) Wind y S1 – S2 gesamt

Bereich S2 – S3

$$q_{wO}(S2-S3) = q_{wOF}(S2-S3) + R_h(S2-S3)$$

$$q_{wO}(S2-S3) = 0,6072 + 0,50$$

$$q_{wO}(S2-S3) = \underline{1,107 \text{ kN/m}}$$

$$q_{wU}(S2-S3) = q_{wUF}(S2-S3)$$

$$q_{wU}(S2-S3) = \underline{0,4048 \text{ kN/m}}$$

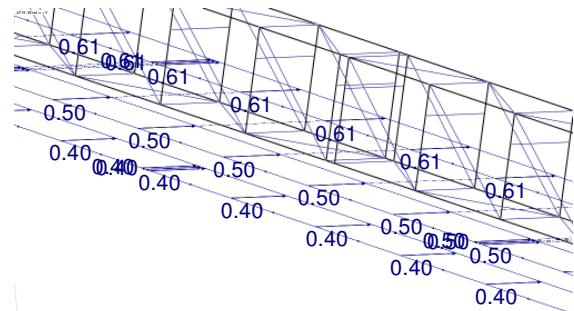


Bild (27) Wind y S2 – S3 gesamt

Bereich S3 – S4

$$q_{wO}(S3-S4) = q_{wOF}(S3-S4) + R_h(S3-S4)$$

$$q_{wO}(S3-S4) = 0,771 + 0,62$$

$$q_{wO}(S3-S4) = \underline{1,391 \text{ kN/m}}$$

$$q_{wU}(S3-S4) = q_{wUF}(S3-S4)$$

$$q_{wU}(S3-S4) = \underline{0,513 \text{ kN/m}}$$

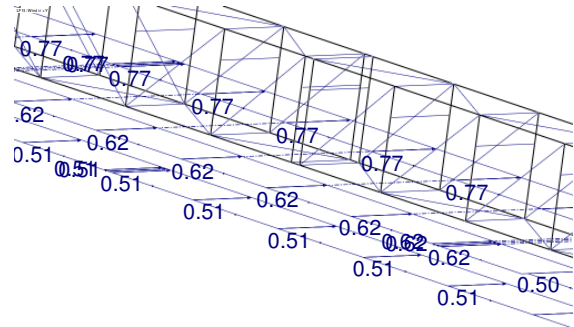


Bild (28) Wind y S3 – S4 gesamt

Wind in Brückenlängsrichtung

Lastfall 17

Wind x+

Die Belastung dieses Lastfalles wird hier nicht aufgeführt, denn sie entspricht dem Lastfall 18, wobei die Richtung entgegengesetzt ist.

Lastfall 18

Wind x-

Wie auch bei der Ermittlung der Windlast für die Obergurtabdeckung, findet sich in der DIN 1055-4 keine Angabe für eine Windlastannahme in Brückenlängsrichtung. Auch hier wird auf die TGL 32274/7 zurückgegriffen. Der Ansatz für Bandbrücken ist in Tabelle 4. Zeile 21. hinterlegt. Die offene Fachwerkkonstruktion wird in Punkt b.) dieser Zeile behandelt. Darin heißt es:

Ansatz der in Brückenlängsrichtung getroffenen Stab- bzw. Riegelfläche mit dem für sie geltenden c-Wert.

c-Wert für eckige Profile: 1,4

$$q_{wx} = c * q(z)$$

Bereich S1 – S2

$$q_{wx}(S1-S2) = 1,4 * 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{wx}(S1-S2) = \underline{1,008 \text{ kN/m}^2}$$

Die Fläche die vom Wind getroffen wird beträgt $A \sim 0,266 \text{ m}^2 / \text{m}$.

Die Windlast wird nicht auf die einzelnen getroffenen Stäbe gelegt, sondern ersatzweise als Linienlast in Stabrichtung auf die Gurte geschlagen.

$$F_W = q_{wx} * A$$

$$F_W = 1,008 * 0,266$$

$$F_W = 0,268$$

$$q_{\text{Gurt},x} = F_W / n \quad n = \text{Anzahl der Gurte}$$

$$q_{\text{Gurt},x} = 0,268 / 4$$

$$\rightarrow q_{\text{Gurt},x} = \underline{0,067 \text{ kN/m}}$$

Bereich S2 – S3

$$q_{wx}(S2-S3) = 1,4 * 0,81 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{wx}(S2-S3) = \underline{1,134 \text{ kN/m}^2}$$

$$\rightarrow q_{\text{Gurt},x} = \underline{0,075 \text{ kN/m}}$$

Bereich S3 – S4

$$q_{wx}(S3-S4) = 1,4 * 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{wx}(S3-S4) = \underline{1,4 \text{ kN/m}^2}$$

$$\rightarrow q_{\text{Gurt},x} = \underline{0,093 \text{ kN/m}}$$

Windkraft auf das Geländer und die Laufstege

Für die Bemessung des Gesamttragwerks wird die Windkraft aus der Wirkung auf diese beiden Bauteile vernachlässigt, da in die Bemessung horizontale Kräfte in Brückenquerrichtung aus der Holmlast mit angesetzt werden, die größer sind als die durch Wind. In Brückenlängsrichtung wird die aus der Verkehrslast entstehende horizontale Kraft ebenfalls größer sein als die Windlasten auf die Gitterroste.

Windkraft auf die Stützen

In Brückenlängsrichtung (x)

Die Stützen werden nur in globaler x-Richtung mit der Windkraft beaufschlagt, da sich dort die maßgebende Belastung für die Stützen einstellt.

Analog zum Brückenquerschnitt wird mit einem c-Wert von 1,4 gearbeitet.

$$\begin{aligned}q_w &= c * q_{(z)} \\q_{(z)} &= 1,7 * q_{\text{ref}} * (z / 10)^{0,37} \\q_{\text{ref}} &= 0,39 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Stütze S2

$$\begin{aligned}q_{w(S2)} &= c * q_{(13,3)} \\q_{(13,3)} &= 1,7 * 0,39 * (13,3 / 10)^{0,37} \\q_{(13,3)} &= 0,737 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Daraus ergibt sich in x-Richtung eine Windlast

$$q_{w,x,S2} = 1,4 * 0,737$$

$$q_{w,x,S2} = \underline{1,03 \text{ kN/m}^2}$$

Bezogen auf die angeströmten Profile folgt:

Profil	Fläche der Profile m ² /m	Resultierende Linienlast kN/m
HEA 300	0,3	0,309
HEA 200	0,2	0,206
U 200	0,2	0,206

Tabelle (1) Wind S2

Stütze S3

$$q_{w(S3)} = c * q_{(23,2)}$$

$$q_{(13,3)} = 1,7 * 0,39 * (23,2 / 10)^{0,37}$$

$$q_{(13,3)} = 0,905 \text{ kN/m}^2$$

Daraus ergibt sich in x-Richtung eine Windlast

$$q_{w,x,S3} = 1,4 * 0,905$$

$$q_{w,x,S3} = \underline{1,27 \text{ kN/m}^2}$$

Bezogen auf die angeströmten Profile folgt:

Profil	Fläche der Profile m ² /m	Resultierende Linienlast kN/m
IPE 500	0,2	0,254
HEA 240	0,24	0,305
U 240	0,24	0,305

Tabelle (2) Wind S3

Auch hier werden die getroffenen Querschnitte mit den wie oben ermittelten Werten beaufschlagt. Den Unterschied macht hier nur der IPE 500 der in Brückenquerrichtung eine angeströmte Fläche von $0,5 \text{ m}^2/\text{m}$ besitzt.

→ resultierende Linienlast = $0,5 * 1,27 = \underline{0,635 \text{ kN/m}}$

Daraus ergeben sich die folgenden Lastbilder

Stütze S2

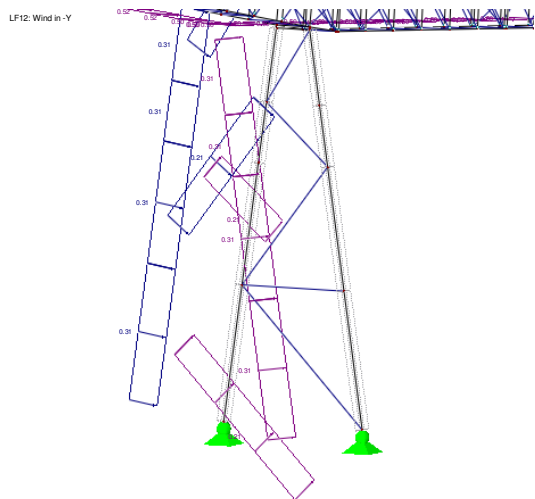


Bild (29) Wind y-

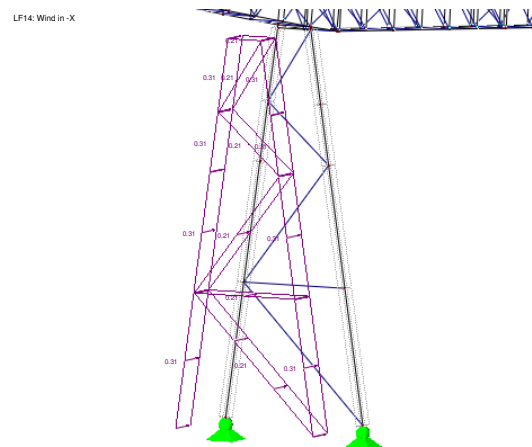


Bild (30) Wind x-

Stütze S3

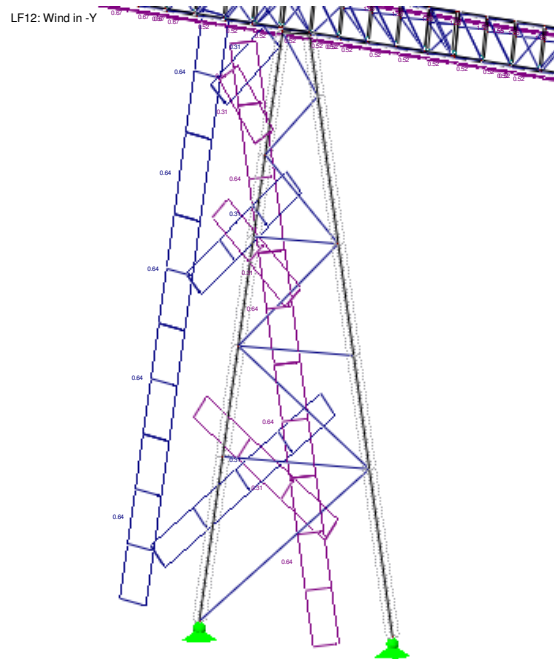


Bild (31) Wind y-

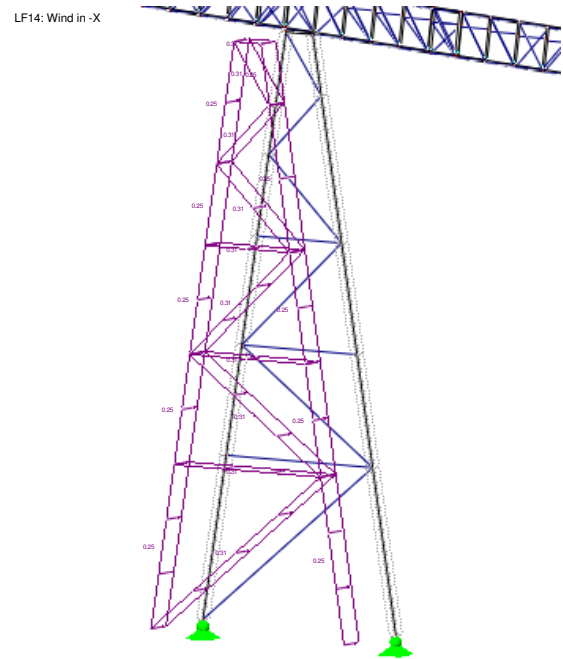


Bild (32) Wind x-

4.2.4 Schneelasten (LF20 – LF22)

Wie in den Vorbemerkungen erwähnt wird die Schneelast nur auf die Obergurtabdeckung angesetzt. Die Schneelast auf die Gitterroste kann für die Bemessung des Tragwerks nicht maßgebend werden.

Ortsangaben: Schneelastzone: 2

Geländehöhe: 420 m über NN

Charakteristischer Wert der Schneelast s_k auf den Boden [kN/m²]

$$s_k = 0,25 + 1,91 * [(A + 140) / 760]^2 > 0,85$$

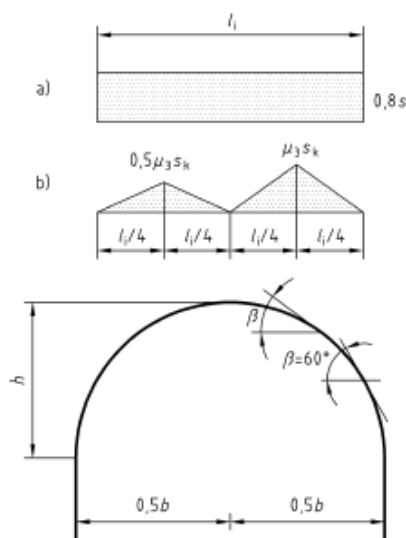
A = Geländehöhe über dem Meeresniveau in [m]

$$A = 420 \text{ m}$$

$$s_k = 0,25 + 1,91 * [(420 + 140) / 760]^2$$

$$s_k = 1,287 \text{ kN/m}^2 > 0,85 \text{ kN/m}^2$$

Die Tonnenform der Obergurtabdeckung hat folgende Lastbilder zur Folge.



Legende

h = Stichhöhe des Tonnendaches

b = Breite

l_i = Sehnslänge zwischen den Punkten mit einer Tangentensteigung von $\beta = \pm 60^\circ$

Bild 7 — Lastbild der Schneelast für Tonnendächer

Bild (33) s.o. [1.3]

Auf Dachbereichen, die steiler als $\beta = 60^\circ$ geneigt sind, braucht keine Schneelast angesetzt zu werden.

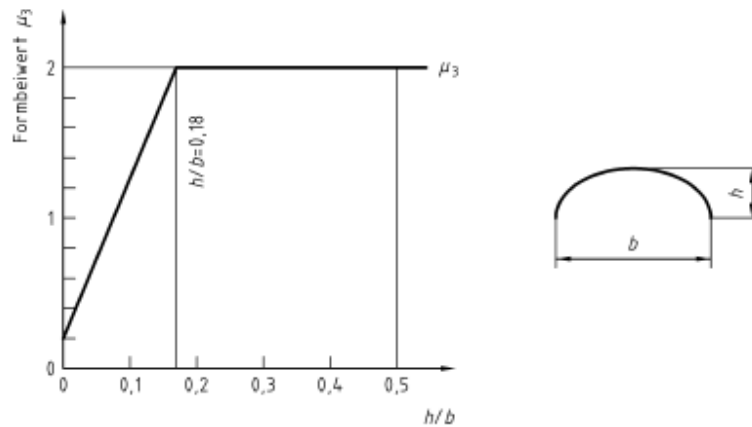


Bild 8 — Formbeiwerte der Schneelast für Tonnendächer

Bild (34) s.o. [1.3]

Der Formbeiwert μ_3 ergibt sich aus dem Verhältnis h / b der Tonne.

In diesem Fall: $h = 0,4 \text{ m}$

$b = 0,8 \text{ m}$

somit: $h / b = 0,625 \text{ m} / 1,25 \text{ m} = 0,5$

Nach Bild 8 ergibt sich ein μ_3 von 2,0.

Daraus ergeben sich nach Bild 7 folgende Lastfälle:

LF Schnee 1:

$$0,8 * s_k = 0,8 * 1,287 \text{ kN/m}^2 = \underline{1,03 \text{ kN/m}^2}$$

LF Schnee 2 und 3:

$$0,5 * \mu_3 * s_k = 0,5 * 2,0 * 1,287 = \underline{1,287 \text{ kN/m}^2}$$

$$\mu_3 * s_k = 2,0 * 1,287 = \underline{2,574 \text{ kN/m}^2}$$

Die Sehnenlänge l_i zwischen den Punkten mit einer Tangentenneigung von $\beta = \pm 60^\circ$.

$$\cos \alpha = A / H$$

$$l_i/2 = \cos 30^\circ * 0,625 \text{ m}$$

$$l_i/2 = 0,5413 \text{ m}$$

$$l_i = \underline{1,083 \text{ m}}$$

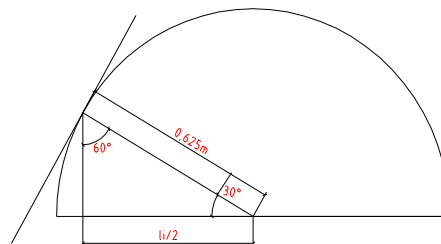


Bild (35) Ermittlung der Einflussbreite

LF ... Schnee voll

LF1: Schnee voll
Lagerreaktionen

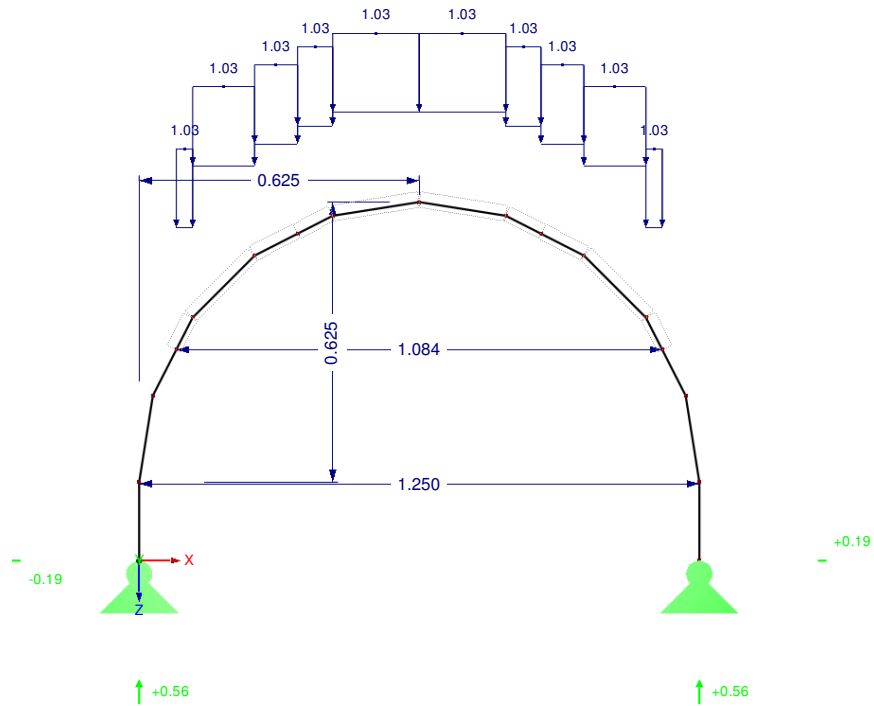


Bild (36) Auflagerreaktionen aus Schnee voll

LF ... Schnee Wartungsstegseite

LF2: Schnee schief 1
Lagerreaktionen

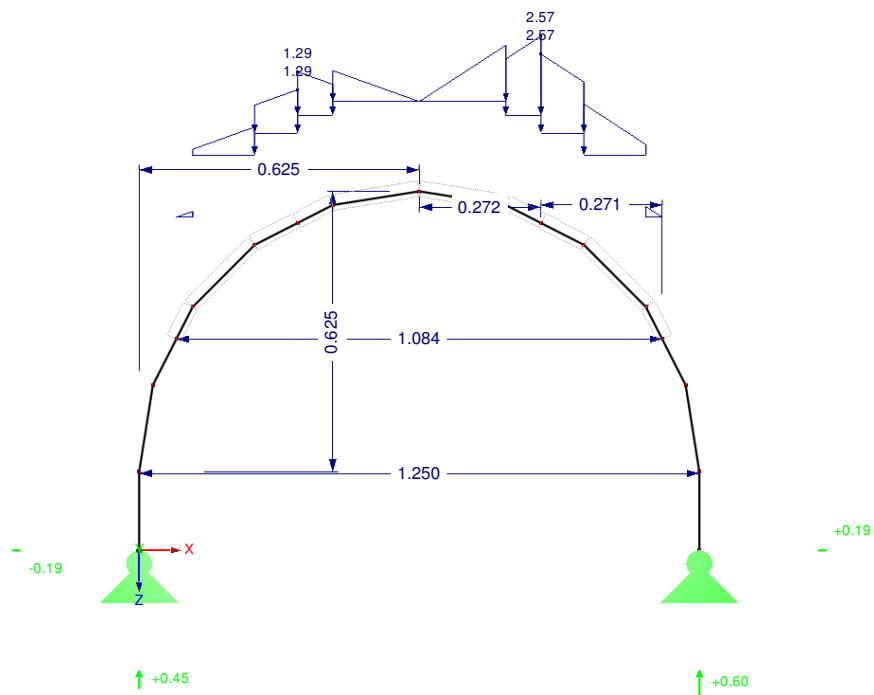


Bild (37) Auflagerreaktionen aus Schnee Wartungsstegseite

LF ... Schnee Laufstegseite

LF3: Schnee schief II
Lagerreaktionen

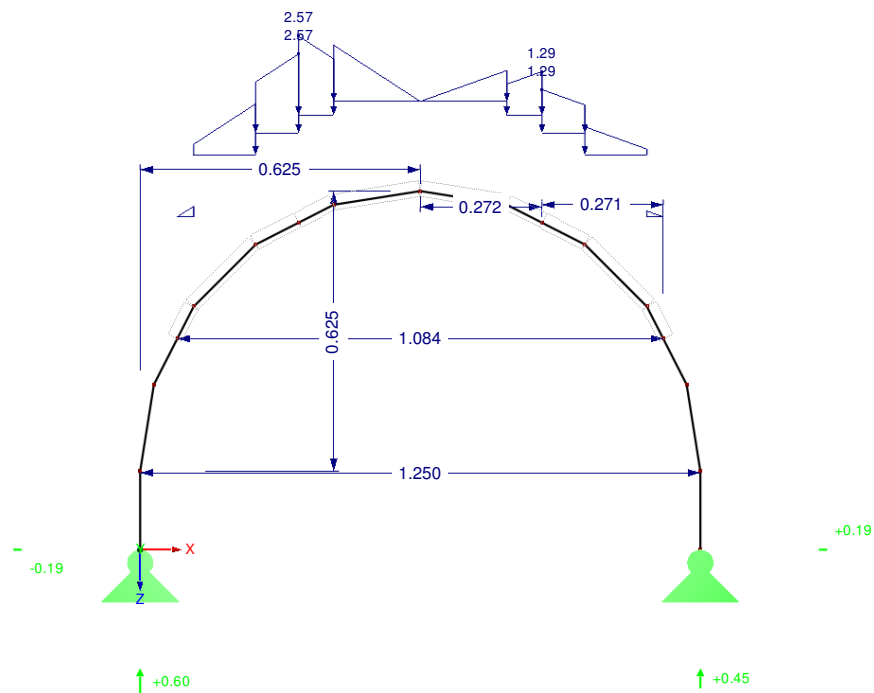


Bild (38) Auflagerreaktionen aus Schnee Laufstegseite

Aus den oben angeführten Punkten ergeben sich für das Tragwerk folgende Lastfälle

Lastfall 20

Schnee voll

LF20: Schnee voll

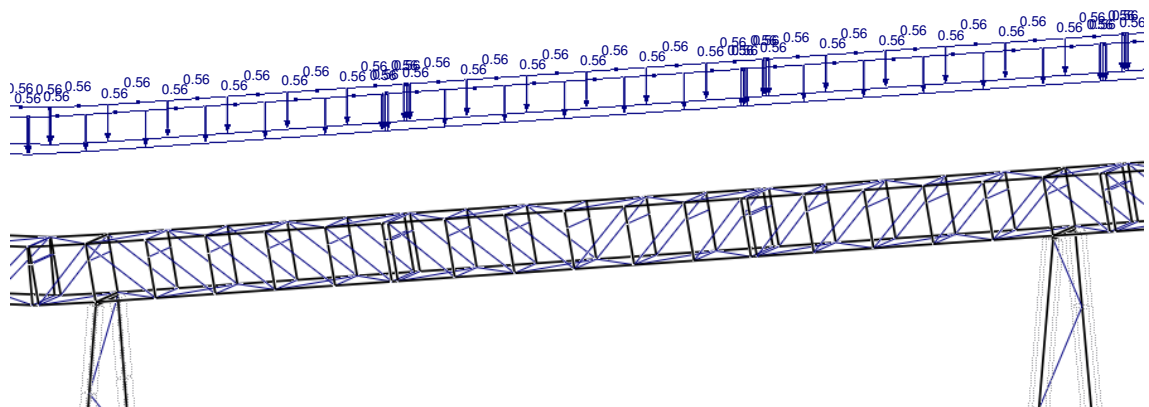


Bild (39) Lastfall 20, Schnee voll im Bereich S2 – S3

Lastfall 21

Schnee Wartungsstegseite

LF21: Schnee Wartungsstegseite

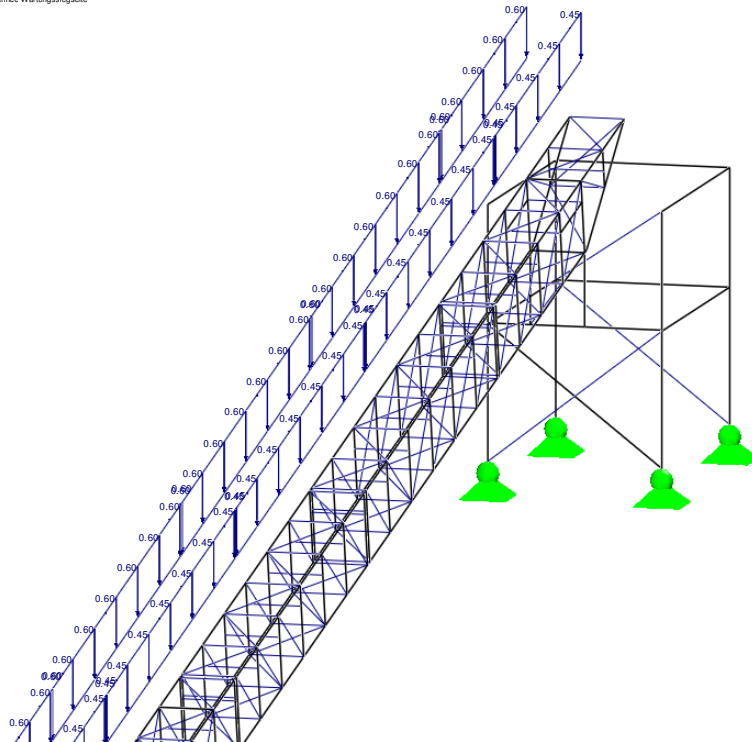


Bild (40) Lastfall 21;
Blick in Richtung S4

Lastfall 22

Schnee Laufstegseite

LF22: Schnee Laufstegseite

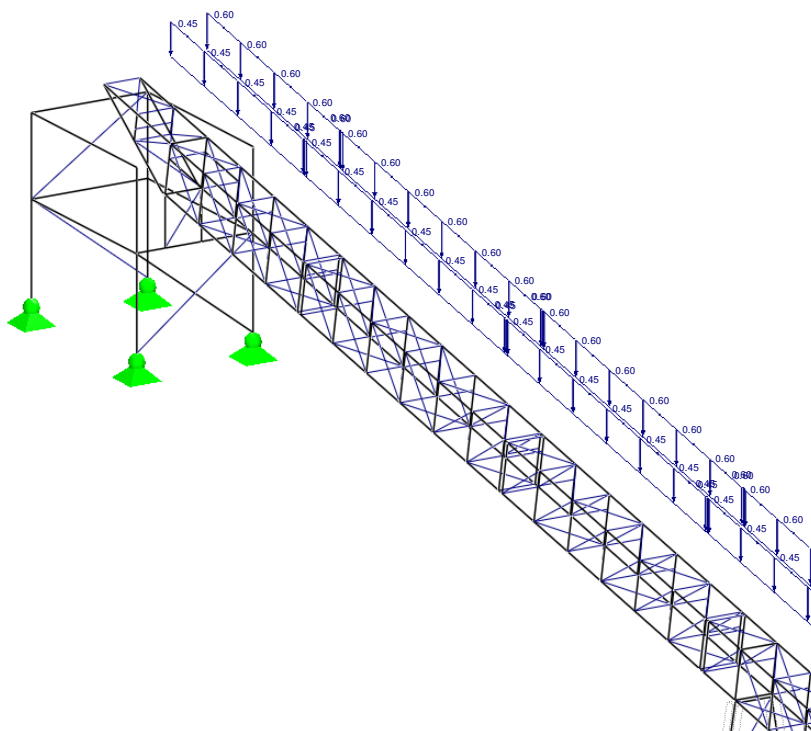


Bild (41) Lastfall 22; Blick in Richtung S4

4.2.5 Eislasten

Allgemeines

Bei filigranen Bauteilen kann für die Bemessung ein Eislastansatz anstelle eines Schneelastansatzes maßgebend werden. Neben dem erhöhten Gewicht sollte dabei auch die größere Windangriffsfläche betrachtet werden. Die Art der Vereisungslasten hängt von den meteorologischen Bedingungen ab, die während des Vereisungsvorgangs am Bauort herrschen. In diesem Fall ist es die **Vereisungsklasse R**:

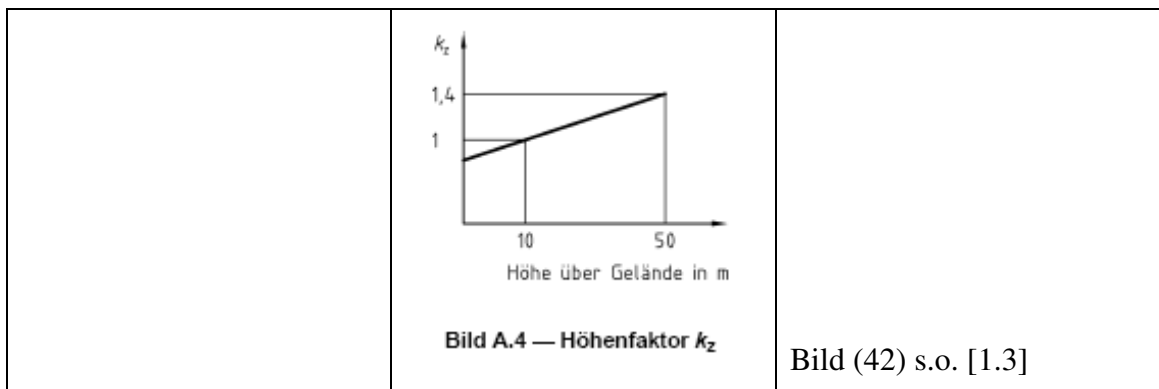
Die vorherrschende Windrichtung während der Vereisung des Bauwerks führt zum Aufbau einer einseitigen, gegen den Wind anwachsenden kompakten Raueisfahne.

Für Fachwerke ergibt sich die Eislast als Summe der Eislasten der Einzelstäbe, wobei geometrische Überschneidungen abgezogen werden dürfen.

Für die R-Klassen gilt, dass bedingt durch die anwachsende Windgeschwindigkeit der Eisansatz mit der Höhe über dem Gelände zunimmt. Für Bauteile bis 50m über Gelände wird die Menge des Eisansatzes mit dem Höhenfaktor

$$k_z = 1 + (h-10) / 100$$

vergrößert. Die Höhe h ist in Meter einzusetzen.



Windlast auf vereiste Baukörper

Die Windlast auf vereiste Baukörper wird nach DIN 1055-4 bestimmt.

Durch den Eisansatz ändert sich die Querschnittsform der Bauteile, damit der Windkraftbeiwert und die Bezugsfläche, bei Fachwerken auch der Völligkeitsgrad. Bei

der Vereisungsklasse R sollt ungünstig davon ausgegangen werden, dass der Wind quer zu den Raueisfahnen bläst.

Die Eisrohichte für Raueis darf mit 5 kN/m^3 angesetzt werden.

Die schematische Darstellung einer kompakt anwachsenden Raueisfahne:

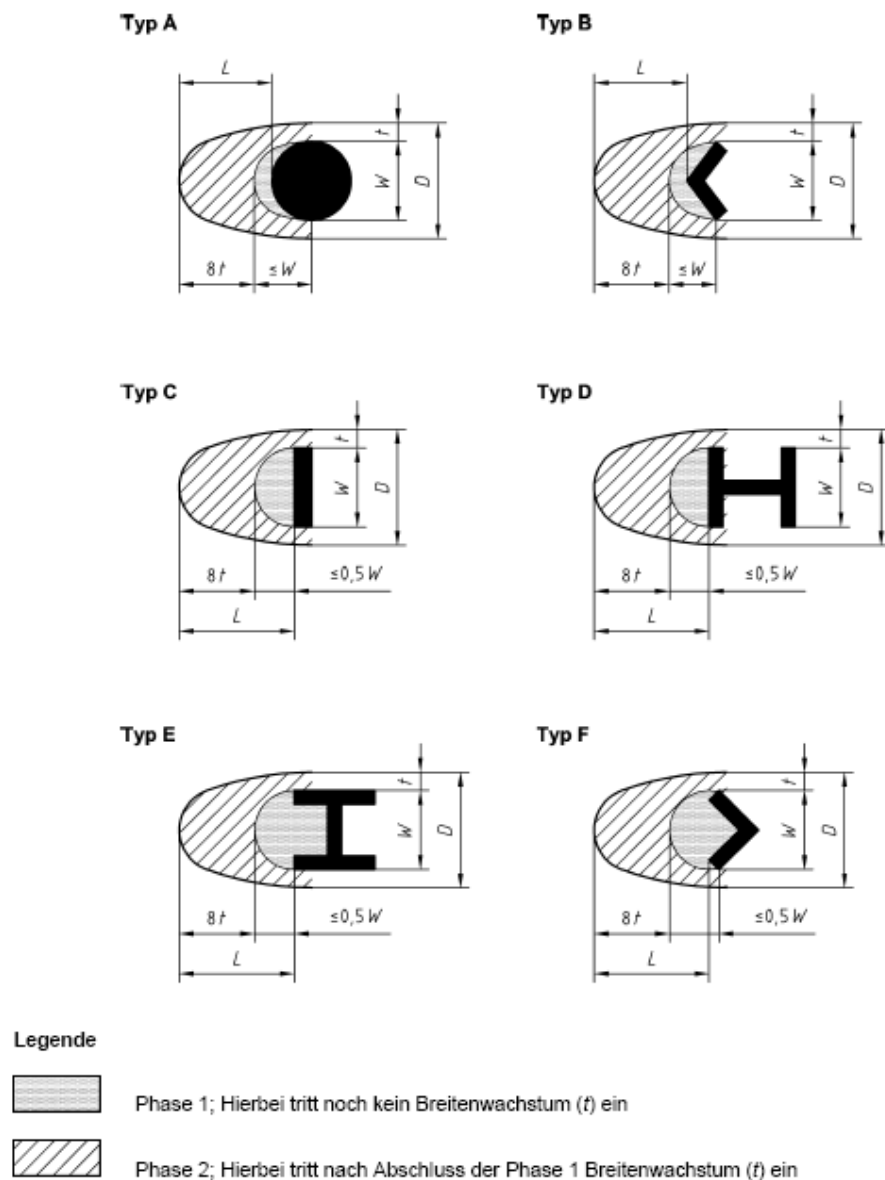


Bild A.2 — Raueisfahnen von Stäben mit unterschiedlicher Querschnittsform

Bild (43) s.o. [3.1]

Die Maße für die oben dargestellten Stabtypen dürfen den folgenden Tabellen entnommen werden.

Tabelle A.2 — Eisfahnenbildung an Stäben des Typs A, B, C und D

Stabquerschnitt Typ A, B, C und D									
Stabbreite <i>W</i> mm		10		30		100		300	
Eisklasse	Eisge- wicht kN/m	Eisfahnen mm							
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
R 1	0,005	56	23	36	35	13	100	4	300
R 2	0,009	80	29	57	40	23	100	8	300
R 3	0,016	111	37	86	48	41	100	14	300

Tabelle A.3 — Eisfahnenbildung an Stäben des Typs E und F

Stabquerschnitt Typ E und F									
Stabbreite W mm		10		30		100		300	
Eisklasse	Eisgewicht kN/m	Eisfahnen mm							
		L	D	L	D	L	D	L	D
R 1	0,005	55	22	29	34	0	100	0	300
R 2	0,009	79	28	51	39	0	100	0	300
R 3	0,016	111	36	81	47	9	100	0	300

Tabelle A.4 — Vereisungsklassen im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

Zone	Region	Vereisungsklasse
1	Küste	G 1, R 1
2	Binnenland	G 2, R 1
3	Mittelgebirge $A \leq 400$ m	R 2
4	Mittelgebirge $400 \text{ m} < A \leq 600$ m	R 3

Bild (44) s.o. [3.1]

Ortsangaben:

Eiszone: $Z = 4$

Geländehöhe $h = 420$ m über NN

Nach Tab. A.4 befindet sich das Bauwerk in der Vereisungsklasse R3

In Ermangelung ausreichender Angaben wird die Eisfahnenlänge L , senkrecht zur Windrichtung, mit 41mm angenommen. Daraus ergibt sich eine geringere Windbelastung für die Bandbrücke. Nach [1.10; C.6] wird auch von einer Kombination von vollem Wind und vollem Schnee abgesehen, da die Auftrittswahrscheinlichkeit dieser beiden Faktoren sehr Unwahrscheinlich ist.

Zusätzliche Belastung aus dem Eigengewicht des Eises

Die Fläche die sich nach [1.3] um die betrachteten Profile aufbaut beträgt zwischen 52,2cm² bei L200x20 und 32,6cm² bei L80x8. Die Eisfläche der anderen Profile liegt dazwischen. Darum wird für die Berechnung festgelegt dass die Eisfläche für alle Profile $A_E = 50\text{cm}^2$ beträgt.

Daraus ergibt sich für alle Profile eine Eislast von:

$$QE = \rho_{\text{Raueis}} * A_E * k_z$$

$$QE = 5,0 \text{ kN/m}^3 * 0,005\text{m}^2 * 1,2$$

$$QE = 0,03 \text{ kN/m}$$

Bei dieser Konstruktion wird also keine Eislast angesetzt, da nach den Kombinationsregeln (Wind – Eis) keine größere Belastung auftritt.

4.2.6 Imperfektionen (LF30)

Das System wird mit Imperfektionen beaufschlagt und mit dem Programm RSTAB in Lastfallgruppen nach Theorie II Ordnung gerechnet. Der Ansatz der Imperfektionen erfolgt nicht am gesamten System, sondern nur an den stabilitätsgefährdeten Bauteilen. Die stabilitätsgefährdeten Bauteile wurden nach Berechnung der Lastfallkombinationen mit dem Modul KAPPA (Biegeknicknachweise für Druckstäbe) ermittelt.

Lastfall 30

Imperfektionen an allen maßgebenden Stäben und Stabzügen

Um die Anzahl der Lastfälle zu begrenzen wird in diesem Lastfall, bei den gefährdeten Stäben, der Ansatz der Imperfektionen „übertrieben“. Die Stäbe werden in beide Richtungen vorgekrümmt, und unabhängig von der Stabkennzahl ε mit einer Vorverdrehung beaufschlagt. Ebenso wurde auf eine Abminderung der Imperfektion um $2/3$ verzichtet, da im Laufe der Berechnung noch nicht abzusehen war, ob die Nachweise elastisch – elastisch geführt werden können. Alles in allem liegen die Imperfektionen so weit auf der sicheren Seite.

Bild (45) Imperfektionen S3	Bild (46) Imperfektionen der Brücke im Bereich S3

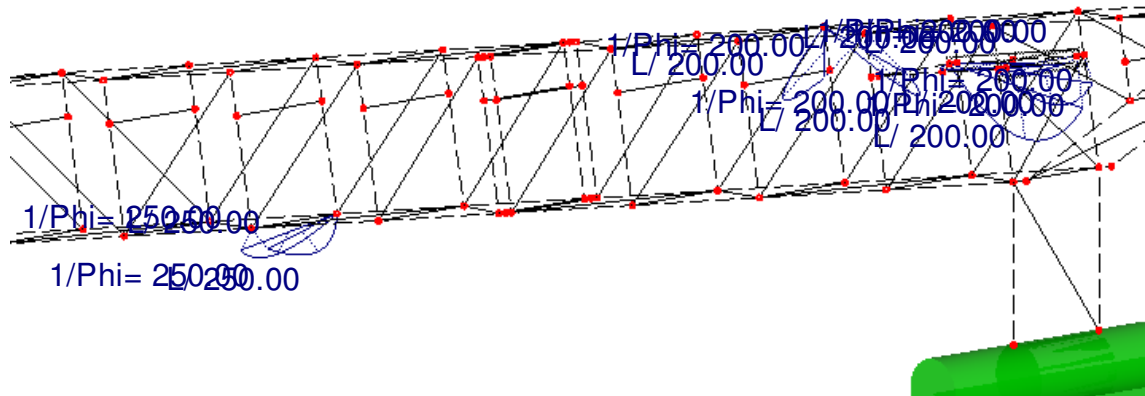


Bild (47) Imperfektionen Feld S3-S4; maßgebende Stäbe

4.3.1 Lastfallgruppen

Die Definition von Lastfallgruppen ist nötig um die Struktur nach der Theorie II. Ordnung zu berechnen. Dieses ist gekennzeichnet durch einen Zuwachs des Biegemomentes resultierend aus der Normalkraft.

Lastfallgruppe 1

$$1,35 * LF1 + 1,35 * LF2 + 1,35 * LF3 + 1,35 * LF4 + 1,35 * LF5 + 1,35 * LF10 \\ + 1,35 * LF11 + 1,35 * LF15 + 1,35 * LF20 + LF30$$

Lastfallgruppe 2

$$1,35 * LF1 + 1,35 * LF2 + 1,35 * LF3 + 1,35 * LF4 + 1,35 * LF5 + 1,35 * LF10 \\ + 1,35 * LF12 + 1,35 * LF16 + 1,35 * LF20 + LF30$$

Lastfallgruppe 3

$$1,35 * LF1 + 1,35 * LF2 + 1,35 * LF3 + 1,35 * LF4 + 1,35 * LF5 + 1,35 * LF10 \\ + 1,35 * LF11 + 1,35 * LF12 + 1,35 * LF17 + 1,35 * LF20 + LF30$$

Lastfallgruppe 4

$$1,35 * LF1 + 1,35 * LF2 + 1,35 * LF3 + 1,35 * LF4 + 1,35 * LF5 + 1,35 * LF10 \\ + 1,35 * LF11 + 1,35 * LF12 + 1,35 * LF18 + 1,35 * LF20 + LF30$$

4.4 Lastfallkombinationen

Lastfallkombinationen allgemein

Die Lastfallkombinationen werden in das Stabwerkprogramm unter Beachtung der Teilsicherheitsfaktoren eingegeben. Grundlage zur Ermittlung der Kombinationen ist El. (710) aus [1.6]. Es werden die folgenden Begriffe verwendet:

Ständige Einwirkungen G :

Für die Bemessungswerte der ständigen Einwirkungen gilt:

$$G_d = \gamma_f * G_k$$

Veränderliche Einwirkungen Q :

Für die Bemessungswerte der veränderlichen Einwirkungen gilt bei Berücksichtigung aller ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen Q_i :

$$Q_{i,d} = \gamma_f * \psi_i * Q_{i,k}$$

$$\text{mit: } \gamma_f = 1,5$$

$$\psi_i = 0,9$$

Bei Berücksichtigung nur jeweils einer der ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen Q_i gilt:

$$Q_{i,d} = \gamma_f * Q_{i,k}$$

$$\text{mit: } \gamma_f = 1,5$$

Gebrauchstauglichkeit:

Für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden für die ständigen und für die veränderlichen Einwirkungen die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte verwendet.

$$\gamma_f = 1,0$$

$$\psi_i = 1,0$$

Kombinationsarten:

- „und“ – Kombination: Die Lastfälle werden addiert.
- „oder“ – Kombination: Damit erfolgt keine Addition der Ergebnisse der Lastfälle bzw. Lastfallkombinationen, sondern eine Alternativüberlagerung mit der Übernahme der jeweils maximalen und minimalen Werte.

- Ständige Überlagerung: Soll eine Einwirkung permanent oder unbedingt angesetzt werden, so ist mit dem Zusatz „/s“ oder „/ständig“ zu versehen.

- Eventuelle Überlagerung: Eine Einwirkung ohne jeglichen Zusatz wird nur dann für die Überlagerung herangezogen, wenn deren Schnittgrößen einen ungünstigen Beitrag zum Ergebnis liefern.

Verwendete Lastfallkombinationen

Zur besseren Übersichtlichkeit wird bei den betrachteten Lastfallkombinationen eine Vorsortierung erforderlich. Bei der Vorsortierung werden Einwirkungen gleicher Art miteinander kombiniert. Im Anschluss daran werden die Bemessungskombinationen gebildet.

Lastfallkombination 1

Ständige Einwirkungen

Alle ständigen Einwirkungen werden mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1,35 summiert.

$$LK\ 1 = LF\ 1 * 1,35 + LF\ 2 * 1,35 + LF\ 3 * 1,35 + LF\ 4 * 1,35 + LF\ 5 * 1,35$$

Lastfallkombination 2

Alle Verkehrslasten

Alle Verkehrslasten werden mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1,5 summiert.

$$LK\ 2 = LF\ 10 * 1,5 + LF\ 11 * 1,5 + LF\ 12 * 1,5$$

Lastfallkombination 3

Wind

Alle Lastfälle Wind werden mit den Kombinationskriterien „oder“ und „eventuell“ überlagert.

$$LK\ 3 = LF\ 15 * 1,5 \text{ oder } LF\ 16 * 1,5 \text{ oder } LF\ 17 * 1,5 \text{ oder } LF\ 18 * 1,5$$

Lastfallkombination 4

Schnee

Alle Lastfälle Wind werden mit den Kombinationskriterien „oder“ und „eventuell“ überlagert.

$$LK\ 4 = LF\ 20 * 1,5 \text{ oder } LF\ 21 * 1,5 \text{ oder } LF\ 22 * 1,5$$

Lastfallkombination 5

Bemessungsschnittgrößen

$$LK5 = LK1/S + 0,9 * LK2 + 0,9 * LK3 + 0,9 * LK4$$

Lastfallkombination 6

Bemessungsschnittgrößen der Stäbe

$$\text{LK6} = \text{LG1 oder LG2 oder LG3 oder LG4}$$

Lastfallkombination 10

Charakteristische Werte Laufstegseite

$$\text{LF1/S} + \text{LF2/S} + \text{LF3/S} + \text{LF4/S} + \text{LF5/S} + \text{LF10} + \text{LF11} + \text{LF15} + \text{LF20}$$

Lastfallkombination 11

Charakteristische Werte Wartungsstegseite

$$\text{LF1/S} + \text{LF2/S} + \text{LF3/S} + \text{LF4/S} + \text{LF5/S} + \text{LF10} + \text{LF12} + \text{LF16} + \text{LF20}$$

Lastfallkombination 12

Lasten für die Fundamente

$$\text{LK10 oder LK11}$$

5. Nachweise der Tragsicherheit

Die Nachweise der Tragsicherheit für die Stäbe des Gesamtsystems wurden mit dem Programm RSTAB geführt. Die Berechnung wurde nach Theorie II. Ordnung geführt, bei der die Verformungen am Gesamtsystem in die Schnittgrößenermittlung einfließen. Die maßgebenden Stäbe wurden mit Imperfektionen beaufschlagt. Die Ergebnisse der einzelnen Querschnitte sind Anhang 1 zu entnehmen.

6. Detailnachweise

Im folgenden Abschnitt werden die Nachweise für die maßgebenden Punkte des Bauwerks geführt. Hierbei wird auf die mit dem Stabwerksprogramm RSTAB ermittelten Schnittgrößen zurückgegriffen.

6.1 Nachweis Gurtstoß

Die Zugkraft des Gurtes wird auf die beiden Querschnittsteile des Winkels L200x16 aufgeteilt. Die die Querschnittsteile einschließenden Schrauben übertragen daraufhin die Zugkraft in den anschließenden Winkel. Bedingt durch die Schraubenanordnung erhält die Schraube in der Mitte des Anschlusses die größte Zugkraft. Diese wird als Bemessungsrelevant angesehen.

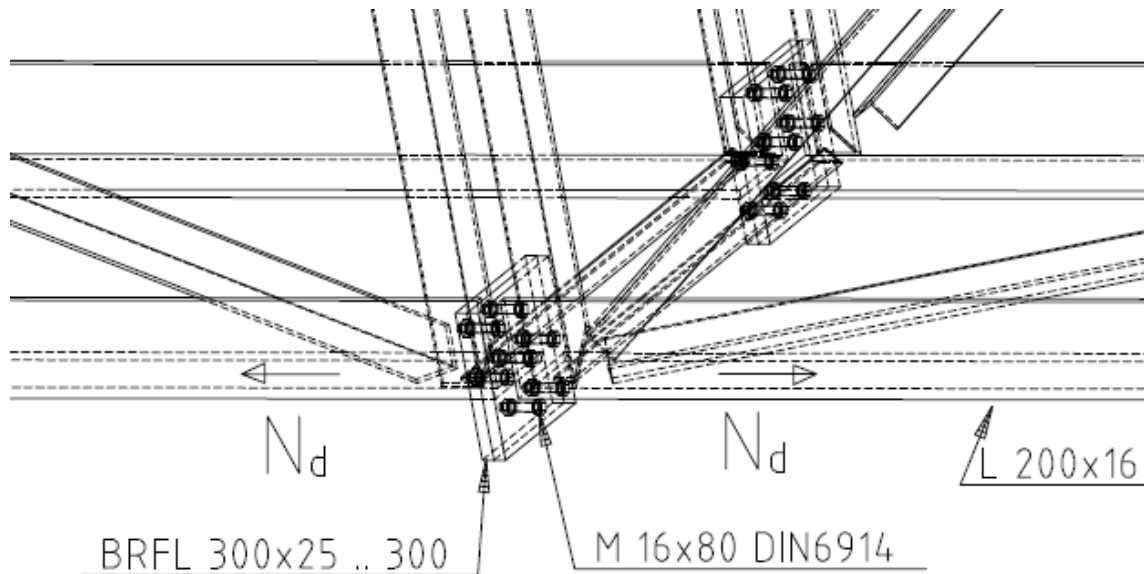


Bild (48) Gurtstoß

$$N_d: \quad 381,6 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = (V_y^2 + V_z^2)^{0,5}$$

$$V_y: \quad 18,9 \text{ kN}$$

$$V_z: \quad 23,0 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = (18,9^2 + 23,0^2)^{0,5}$$

$$V_{a,R,d} = \underline{29,8 \text{ kN}}$$

$$A: \quad 61,8 \text{ cm}^2$$

$$F_Q: \quad N_d / 2$$

$$F_Q: \quad 381,6 / 2$$

$$F_Q: \quad \underline{190,8 \text{ kN}}$$

Verteilung der Querschnittsteilkraft auf die jeweiligen Schrauben ($n = 4$)

$$F_S: F_Q / n$$

$$F_S: 190,8 / 4$$

$$F_S: \underline{47,7 \text{ kN}}$$

Nachweis der maßgebenden Schraube

Gewählt: M16 10.9

$$N_{R,d}: 114 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d}: 101 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren

$$V_{a,d} / V_{a,R,d} < 1$$

$$29,8 / 7 * 101 = \underline{0,042 < 0,25}$$

Nachweis erbracht; keine Interaktion nötig!

Nachweis auf Zug

$$N_d / N_{R,d} < 1$$

$$2 * F_S / N_{R,d}$$

$$2 * 47,7 / 114 = \underline{0,837 < 1}$$

Nachweis erbracht!

Nachweis der Schweißnaht

Gewählt: umlaufende Kehlnaht $a = 6 \text{ mm}$
 $l_w = 2 * 200 + 2 * (200 - 16 - 6)$
 $l_w = 75,6 \text{ cm}$
 $A_w = a * l_w = 0,6 * 75,6 = \underline{45,36 \text{ cm}^2}$
 $\sigma_{w,R,d} = 20,7 \text{ kN/cm}^2$

Nachweis auf Zug

$$\sigma_{R,d} / \sigma_{w,R,d} < 1$$

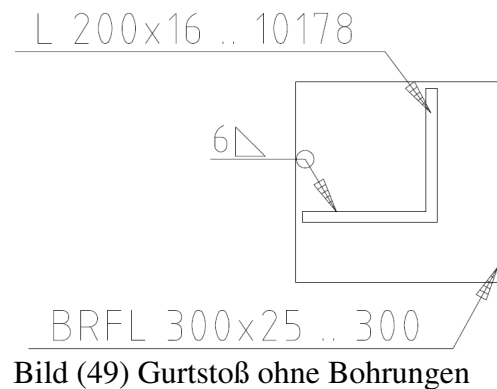
$$\sigma_{R,d} = N_d / A_w$$

$$\sigma_{R,d} = 381,6 / 45,36$$

$$\sigma_{R,d} = \underline{8,41 \text{ kN/cm}^2}$$

$$8,41 / 20,7 = \underline{0,41} < 1$$

Nachweis erbracht!



6.2 Nachweis Fachwerkstäbe

6.2.1 Pfosten der horizontalen Scheibe

Profil: L200x16

L50x5 (Stab35)

$$N_{d,max} = 16,97 \text{ kN}$$

$$l_w = 140 \text{ mm}$$

$$a_w = 3,5 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_w = l_w * a_w * n$$

$$A_w = 14 * 0,35 * 2$$

$$A_w = \underline{9,8 \text{ cm}^2}$$

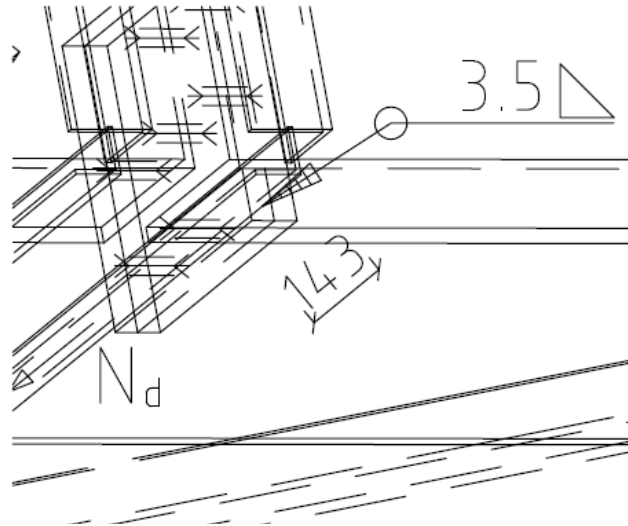


Bild (50) Ansicht Gurtstoss

Wie aus den Werten ersichtlich wurden nur die Flankenkehlnähte angesetzt.

Beanspruchung / Nachweis

$$\tau_{\parallel} = F / A_w$$

$$\tau_{\parallel} = 16,97 / 9,8$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{1,73 \text{ kN/cm}^2} < 20,7 = \sigma_{w,R,d}$$

Nachweis erbracht!

6.2.2 Pfosten der vertikalen Scheibe

Profil: L200x16

L50x5 (Stab335)

$$N_{d,max} = 125,3 \text{ kN}$$

$$l_w = 153 \text{ mm}$$

$$a_w = 3,5 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_w = l_w * a_w * n$$

$$A_w = 15,3 * 0,35 * 2$$

$$A_w = \underline{10,71 \text{ cm}^2}$$

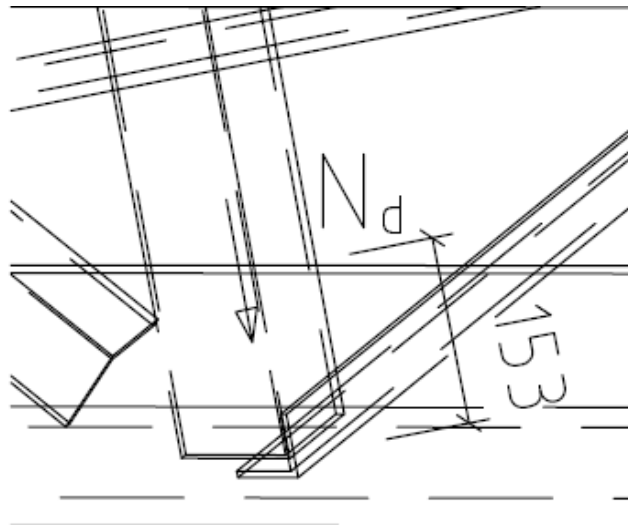


Bild (51) Ansicht Pfosten

Wie aus den Werten ersichtlich wurden nur die Flankenkehlnähte angesetzt.

Beanspruchung / Nachweis

$$\tau_{\parallel} = F / A_w$$

$$\tau_{\parallel} = 125,3 / 10,71$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{11,7 \text{ kN/cm}^2} < 20,7 = \sigma_{w,R,d}$$

Nachweis erbracht!

6.2.3 Diagonalen der horizontalen Scheibe

Profil: L200x16

L90x8 (Stab 629)

$$N_{d,max} = 80,4 \text{ kN}$$

$$l_w = 154 \text{ mm}$$

$$a_w = 3,5 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_w = l_w * a_w * n$$

$$A_w = 15,4 * 0,35 * 2$$

$$A_w = \underline{10,78 \text{ cm}^2}$$

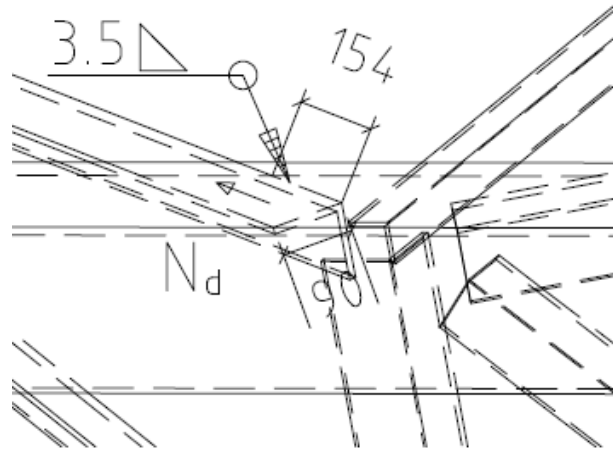


Bild (52) Ansicht Diagonale

Wie aus den Werten ersichtlich wurden nur die Flankenkehlnähte angesetzt.

Beanspruchung / Nachweis

$$\tau_{\parallel} = F / A_w$$

$$\tau_{\parallel} = 80,4 / 10,78$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{7,46 \text{ kN/cm}^2} < 20,7 = \sigma_{w,R,d}$$

Nachweis erbracht!

6.2.4 Diagonalen der vertikalen Scheibe

Profil: L200x16

L75x7 (Stab 729)

$N_{d,max} = 203,8 \text{ kN}$

$$l_w = 2 * l_1 + 2b$$

$$l_1 = 108 \text{ mm}$$

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$l_w = 2 * 108 + 2 * 75$$

$$l_w = 366 \text{ mm}$$

$$a_w = 3,5 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_w = l_w * a_w$$

$$A_w = 36,6 * 0,35$$

$$A_w = \underline{12,81 \text{ cm}^2}$$

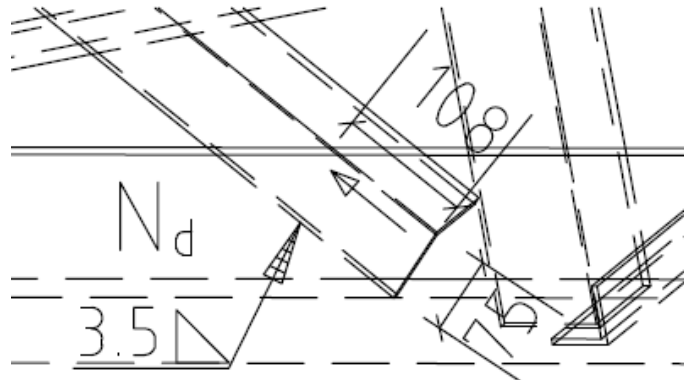


Bild (53) Ansicht Diagonale

Wie aus den Werten ersichtlich wurden nur die Flankenkehlnähte angesetzt.

Beanspruchung / Nachweis

$$\tau_{\parallel} = F / A_w$$

$$\tau_{\parallel} = 203,8 / 12,81$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{15,91 \text{ kN/cm}^2} < 20,7 = \sigma_{w,R,d}$$

Nachweis erbracht!

4	Ringsumlaufende Kehlnaht - Schwerachse näher zur kürzeren Naht		$\Sigma l = 2 l_1 + 2 b$
---	--	--	--------------------------

Tabelle (54) Ausschnitt Tab.20 [1.6]

6.3 Rahmen über der Stütze

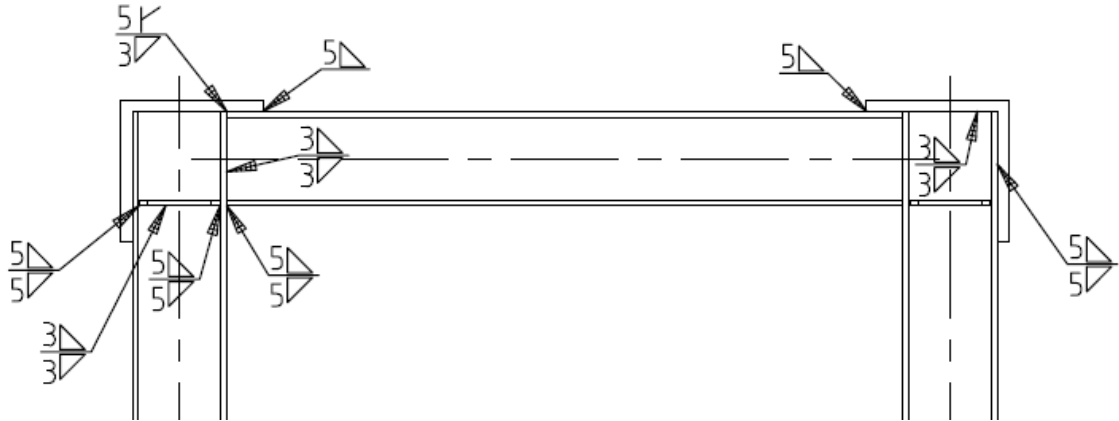


Bild (55) Rahmen mit Schweißnähten

Die Spannungsnachweise für dieses Teilsystem wurden nach Theorie II. Ordnung geführt und erfüllt. Die Schweißnähte werden konstruktiv mit $a > 0,5t$ festgelegt und nicht explizit nachgewiesen.

Die Lastenleitung unten erfolgt über Flankenkehlnähte.

$$N_d = 302,7 \text{ kN}$$

$$A_w = l_w \cdot a \cdot n$$

$$l_w = 150 \text{ mm}$$

$$a = 5$$

$$n = 2$$

$$A_w = 150 \cdot 5 \cdot 2$$

$$A_w = 15 \text{ cm}^2$$

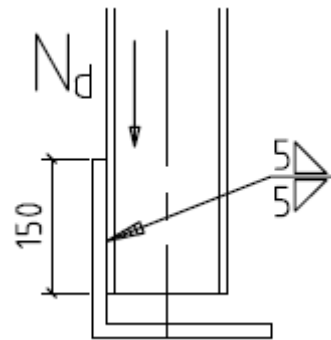


Bild (56) Lastenleitung

Schubspannung in der Schweißnaht & Nachweis

$$\tau = N_d / A_w$$

$$\tau = 302,7 / 15$$

$$\tau = \underline{20,18} < 20,7 = \sigma_{w,R,d}$$

6.4 Nachweis des Brückenlagers (S3)

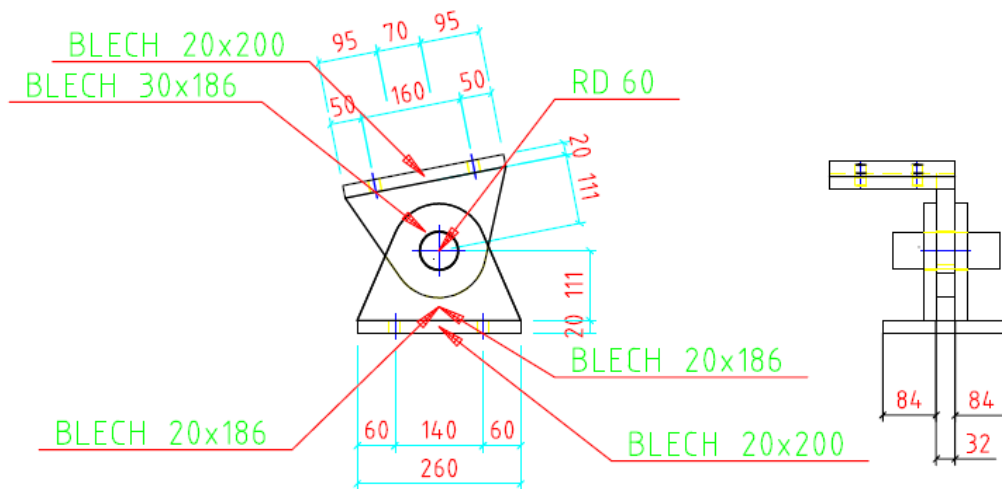


Bild (57) Geometrie des Lagerbockes

Querschnittswerte

Bolzen:	Bolzendurchmesser d:	60 mm
	Bolzenquerschnittsfläche A:	28,27 cm ²
	Widerstandsmoment W_{Sch} :	21,21 cm ³
	Werkstoff:	S355
	Grenznormalspannung $\sigma_{R,d}$:	30,45 kN/cm ²
	Grenzs Schubspannung $\tau_{R,d}$:	17,58 kN/cm ²

Blech 1:	Blechdicke t_1 :	30 mm
	Werkstoff:	S355
Blech 2:	Blechdicke t_2 :	2 x 20mm
	Werkstoff:	S355

Beanspruchung

$$F_z = 396,0 \text{ kN}$$

$$F_x = 24,8 \text{ kN}$$

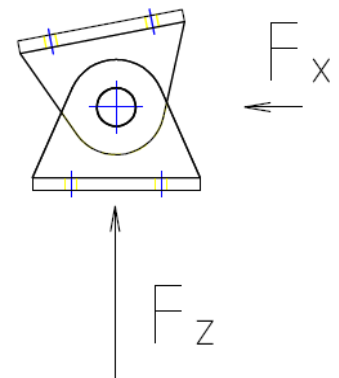


Bild (58) Kräfte am Lager

Bemessungswert der senkrecht zum Bolzen wirkenden Kraft

$$V_{a,d} = (F_z^2 + F_x^2)^{0,5}$$

$$V_{a,d} = (396,0^2 + 24,8^2)^{0,5}$$

$$V_{a,d} = \underline{396,8 \text{ kN}}$$

Bemessungswert der Grenzlochleibungskraft

$$V_{L,d} = V_{a,d} = \underline{396,8 \text{ kN}}$$

Bemessungswert des Biegemoments des Bolzens

$$M_d = V_{a,d} / 8 * (t_2 + 4s + 2 * t_1)$$

$$M_d = 396,8 / 8 * (3,0 + 4 * 0,1 + 2 * 2,0)$$

$$M_d = \underline{386,9 \text{ kNcm}}$$

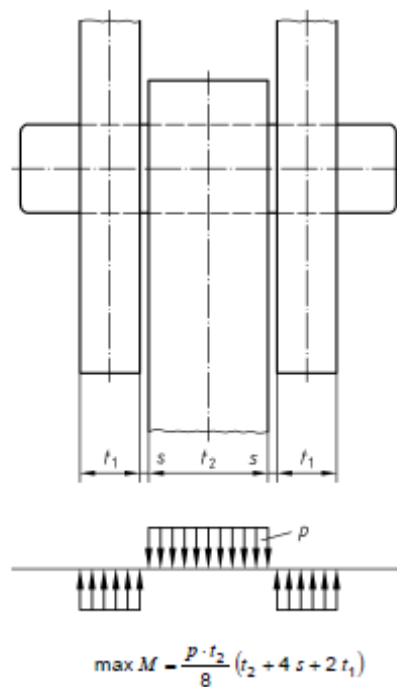


Bild (59) Ermittlung des max M [1.6]

Beanspruchbarkeit

Grenzabscherkraft $V_{a,R,d}$

$$V_{a,R,d} = A * \tau_{a,R,d}$$

$$V_{a,R,d} = 28,27 * 17,58$$

$$V_{a,R,d} = \underline{497,0 \text{ kN}}$$

Grenzbiegemoment $M_{R,d}$

$$M_{R,d} = W_{Sch} * f_{y,b,k} / (1,25 * \gamma_M)$$

$$M_{R,d} = 21,21 * 33,5 / (1,25 * 1,1)$$

$$M_{R,d} = \underline{516,8 \text{ kNcm}}$$

Grenzlochleibungskraft $V_{L,R,d}$

$$V_{L,R,d} = t_l * d_{Sch} * 1,5 * f_{yk} / \gamma_M$$

$$V_{L,R,d} = 3,0 * 6,0 * 1,5 * 33,5 / 1,1$$

$$V_{L,R,d} = \underline{822,3 \text{ kN}}$$

Nachweise

Grenzabscherkraft

$$V_{A,d} / V_{A,R,d} < 1$$

Bemerkung: Faktor 2 im Nenner, da es sich um eine zweischnittige Verbindung handelt.

$$396,8 / (497,0 * 2) = \underline{0,399 < 1} \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

Lochleibung

$$V_{L,d} / V_{L,R,d} < 1$$

$$396,8 / 822,3 = \underline{0,483 < 1} \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

Grenzbeugemoment

$$M_d / M_{R,d} < 1$$

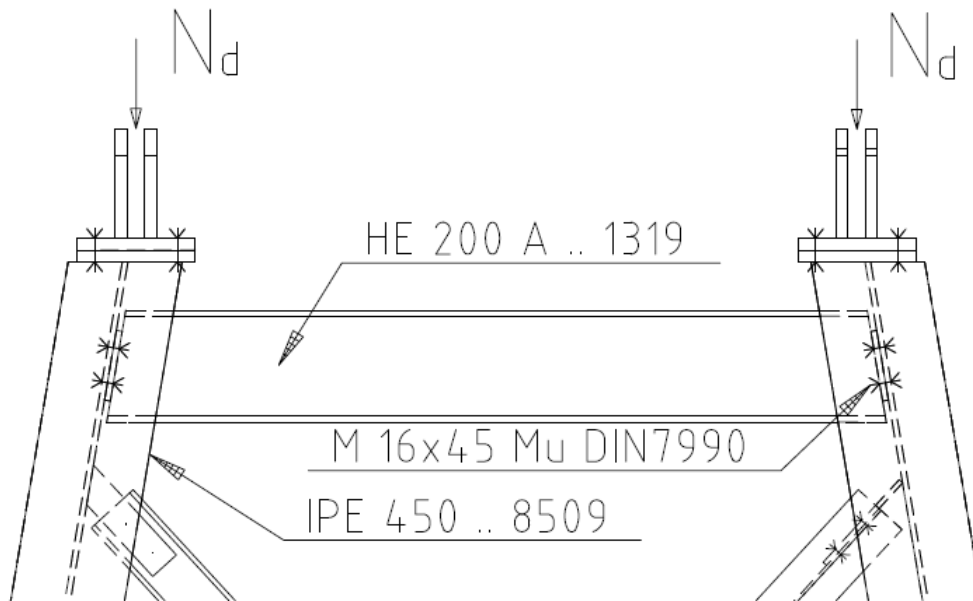
$$386,9 / 516,8 = \underline{0,749 < 1} \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

Biegung und Abscherung

$$(M_d / M_{R,d})^2 + (V_{A,d} / V_{A,R,d})^2 < 1$$

$$0,749^2 + 0,399^2 = \underline{0,720 < 1} \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

6.5 Nachweis Stützenkopf (S3)



Bild(60) Ansicht des Stützenkopfes S3

$$N_d = 320,7 \text{ kN}$$

Lasteinleitung in die Stütze

Lastausbreitungswinkel: 45°

Mitragende Breite des Steges: b'

$$b' = b_{P11} + 2 \cdot t_2$$

$$\text{Mit: } b_{P11} = 260 \text{ mm}$$

$$t_2 = 20 \text{ mm}$$

$$b' = 260 + 2 \cdot 20$$

$$b' = 300 \text{ mm}$$

$$s = 9,4 \text{ mm}$$

$$A = b' \cdot s$$

$$A = 30 \cdot 0,94$$

$$A = \underline{28,2 \text{ cm}^2}$$

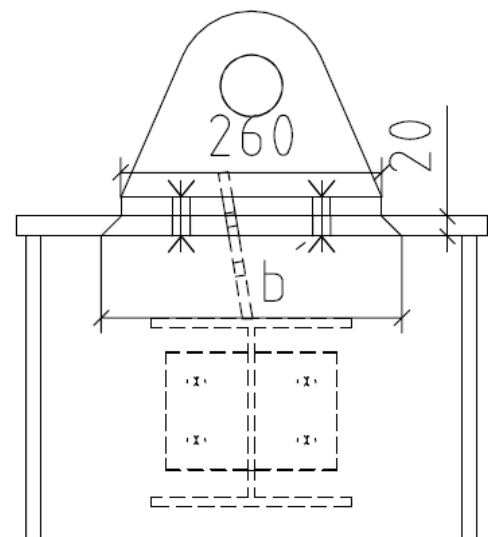


Bild (61) Lasteinleitung

$$\text{Nachweis: } \sigma = N_d / A$$

$$\underline{\sigma_d = 320,7 / 28,2 = 11,35 < 21,82 = \sigma_{R,d}}$$

6.6 Nachweis der Anschlüsse der Stützenstäbe (S3)

Bild

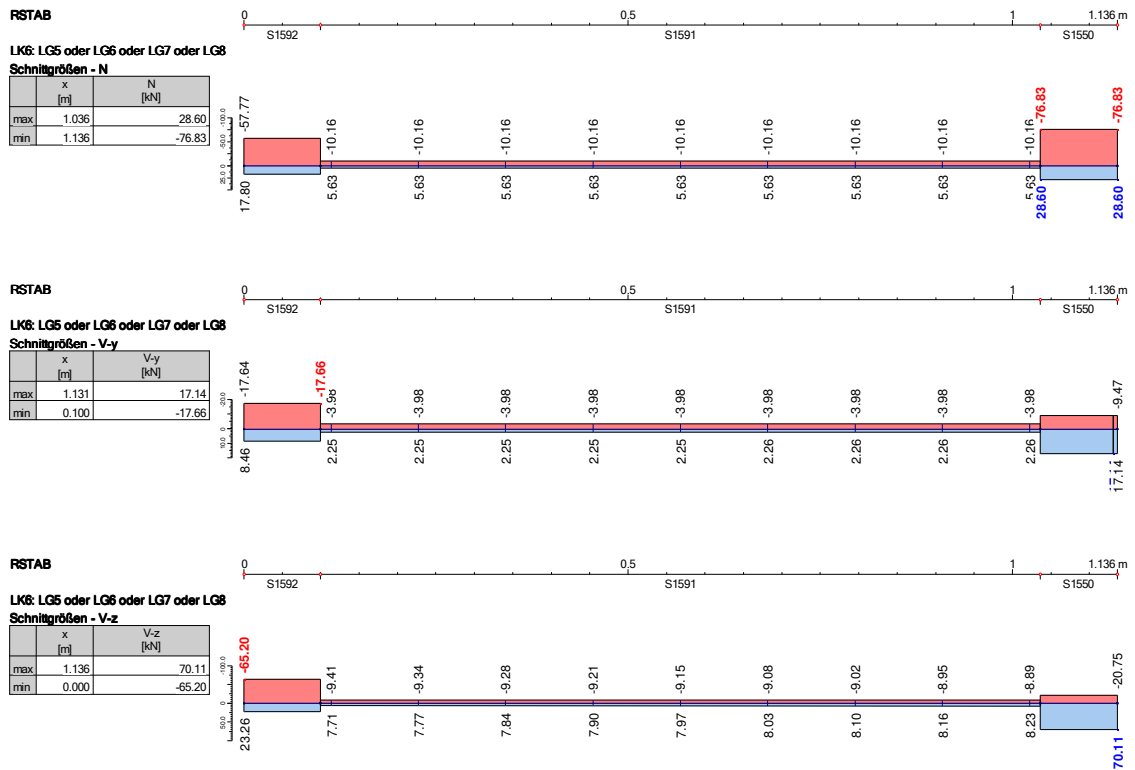


Bild (62) Schnittkräfte des Stützenkopfpfostens

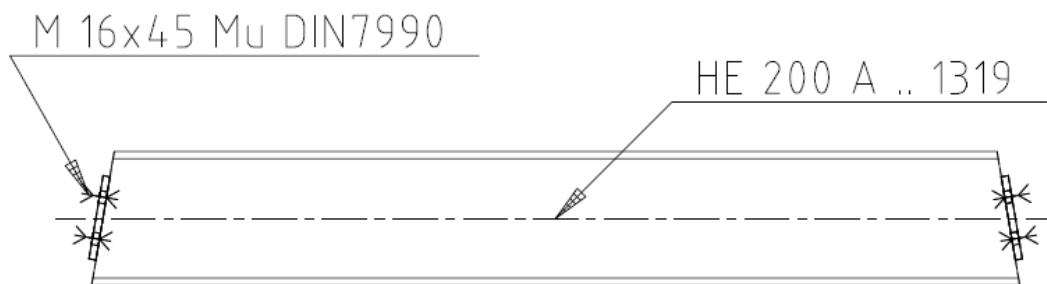


Bild (63) Ansicht des Stützenkopfpfostens

Der Nachweis erfolgt an der rechten Seite des Profils HEA200, da dort die maßgebende Beanspruchung auftritt.

Beanspruchung

$$N_{d(\text{Zug})}: 28,6 \text{ kN}$$

$$N_{d(\text{Druck})}: 76,83 \text{ kN}$$

$$V_d: (V_y^2 + V_z^2)^{0,5}$$

$$V_y: 17,14 \text{ kN}$$

$$V_z: 70,11 \text{ kN}$$

$$V_d: (17,14^2 + 70,11^2)^{0,5}$$

$$V_d: 72,14 \text{ kN}$$

Schrauben

$$\text{Gewählt: } 4 \times \text{M16 4.6}$$

Beanspruchbarkeit

$$N_{r,d} = 39,9 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = 43,9 \text{ kN}$$

Nachweis auf Zug

$$N_d / N_{R,d} < 1$$

$$28,6 / (4 * 39,9) = \underline{0,179 < 0,25}$$

kein Vergleichsspannungsnachweis!

Nachweis auf Abscheren

$$V_{a,d} / V_{a,R,d} < 1$$

$$72,14 / (4 * 43,9) = \underline{0,411 < 1}$$

Nachweis erbracht!

Schweißnaht

$$A_W = 2 * a_W * l_W$$

$$l_W = 120 \text{ mm}$$

$$a_W = 3,5 \text{ mm}$$

$$A_W = 2 * 12 * 0,35$$

$$A_W = 8,4 \text{ cm}^2$$

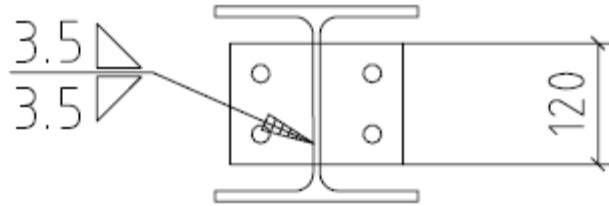


Bild (64) Stirnplatte

Spannungsermittlung

$$\tau_{\parallel} = V_d / A_W$$

$$\tau_{\parallel} = 72,14 / 8,4$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{8,58}$$

$$\sigma_{\perp} = N_d / A_W$$

$$\sigma_{\perp} = 76,83 / 11,2$$

$$\sigma_{\perp} = \underline{9,15}$$

Vergleichsspannung

$$\sigma_{W,V} = (\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{W,V} = (6,44^2 + 6,86^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{W,V} = \underline{12,54}$$

Nachweis der Schweißnaht

$$\sigma_{W,V} / \sigma_{W,V,d} < 1$$

$$\sigma_{W,V,d} = \alpha_W * f_{y,k} / \gamma_M$$

$$\sigma_{W,V,d} = 0,95 * 24 / 1,1$$

$$\sigma_{W,V,d} = 20,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$12,54 / 20,72 = \underline{0,61} < 1$$

Nachweis erbracht!

6.7 Nachweis der Stützendiagonalen

$$N_d = 45,11 \text{ kN}$$

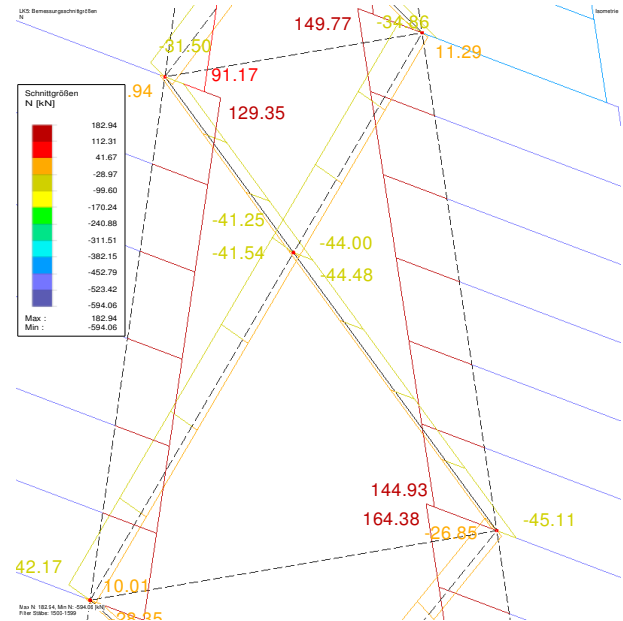


Bild (65) Normalkraft S3

Anschluss rechts

$$l_W = 2 * 107 \text{ mm}$$

$$a_W = 4 \text{ mm}$$

$$A_W = 8,65 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_W = N_d / A_W$$

$$\sigma_W = 45,11 / 8,65$$

$$\sigma_W = \underline{5,22 < 20,7}$$

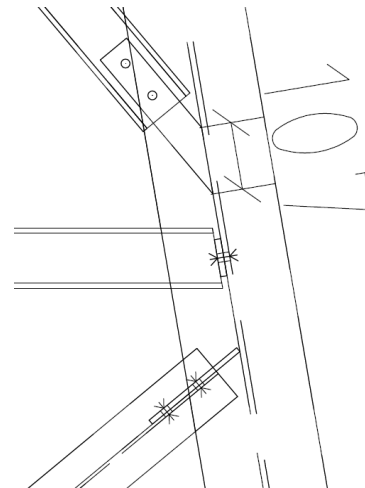


Bild (66) Knoten rechts

Anschluss links

$$l_W = 2 * 54 \text{ mm}$$

$$a_W = 4 \text{ mm}$$

$$A_W = 4,32 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_W = N_d / A_W$$

$$\sigma_W = 45,11 / 4,32$$

$$\sigma_W = \underline{10,44 < 20,7}$$

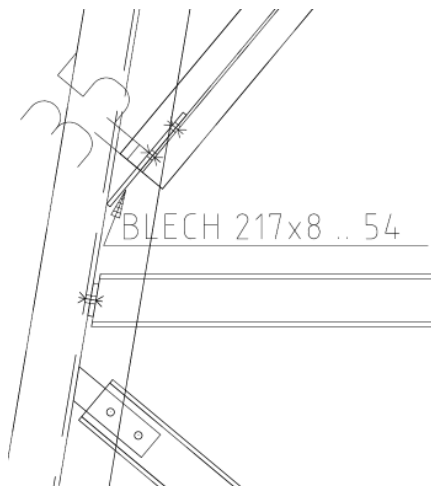


Bild (67) Knoten links

6.7.1 Stützenstoß

Der Stützenstoß wird konstruktiv festgelegt. Die Auswahl erfolgt nach DAST – Katalog.

Gewählt: IH1E45 20

6.8 Nachweis Fußplatte (S2; IPE270)

Platte

Blech: Bl 25 x 470 x 210

Material: S235

Streckgrenze $f_{y,k}$: 24 kN/cm²

Beton

Material: C20/25

Druckfestigkeit $f_{ck,cyl}$: 20 N/mm²

Bemessungsschnittgrößen am Stützenfuß:

N_d : 375,8 kN

V_y : 2,35 kN

V_z : 8,16 kN

Betonpressung unter der Fußplatte

$$A_p = 21 \cdot 47 = 987 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{B,d} = N_d / A_p$$

$$\sigma_{B,d} = 375,8 / 1175$$

$$\sigma_{B,d} = \underline{0,381 \text{ kN/cm}^2}$$

Ermittlung der Biegemomente für die Platte

LF1
M-y

Entgegen der Y-Richtung

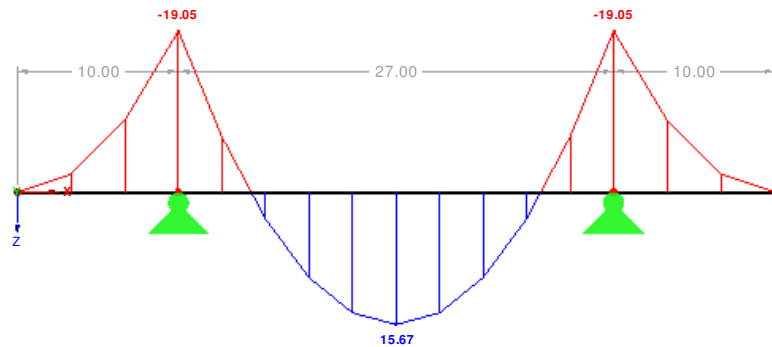


Bild (68) Stützung durch die Flansche

LF1
M-y

Entgegen der Y-Richtung

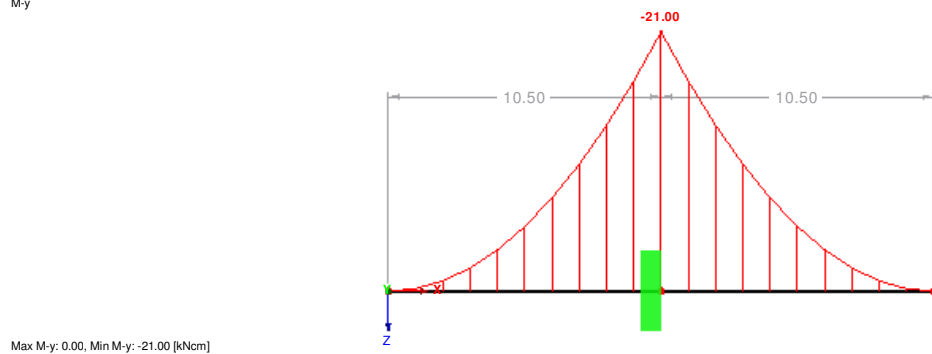


Bild (69) Stützung durch den Steg

Das maßgebende Moment maxM beträgt 21,0 kNm.

Ermittlung der erforderlichen Plattendicke

Zur Ermittlung der Plattendicke wird gedanklich ein Streifen mit der Breite $b_s = 1,0\text{m}$ aus der Platte herausgeschnitten.

$$\text{erf } d_p = (6 * \max M * 1,1 / (f_{y,k} * b_s))^{0,5}$$

$$\text{erf } d_p = (6 * 21,0 * 1,1 / (24 * 1,0))^{0,5}$$

$$\text{erf } d_p = \underline{2,40\text{cm}}$$

Nachweis

$$\text{erf } d_p < \text{vorh } d_p$$

$$\underline{2,4} < \underline{2,5}$$

Nachweis erbracht!

6.9 Nachweis Fußplatte (S3; IPE450)

Platte

Blech:	Bl 45 x 650 x 300
Material:	S235
Streckgrenze $f_{y,k}$:	21,5 kN/cm ² ; ($t > 40$)

Beton

Material:	C20/25
Druckfestigkeit $f_{ck,cyl}$:	20 N/mm ²

Bemessungsschnittgrößen am Stützenfuß:

N_d :	596,0 kN
V_y :	3,57 kN
V_z :	13,2 kN

Betonpressung unter der Fußplatte

$$A_p = 30 * 65 = 1950 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{B,d} = N_d / A_p$$

$$\sigma_{B,d} = 596,0 / 1950$$

$$\sigma_{B,d} = \underline{0,306 \text{ kN/cm}^2}$$

Ermittlung der Biegemomente für die Platte

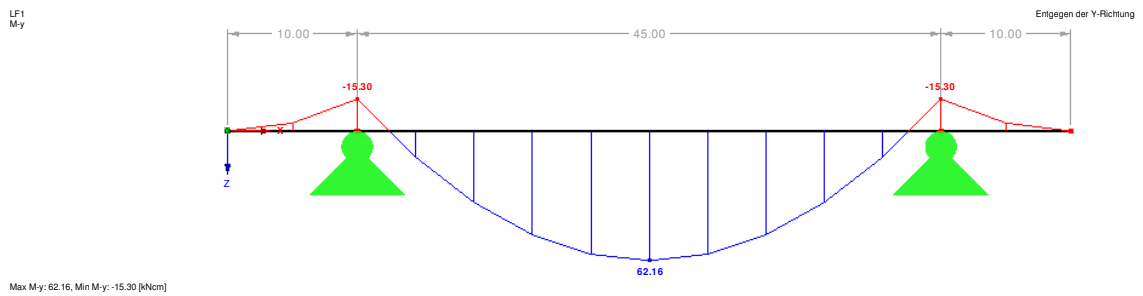


Bild (70) Stützung durch die Flansche

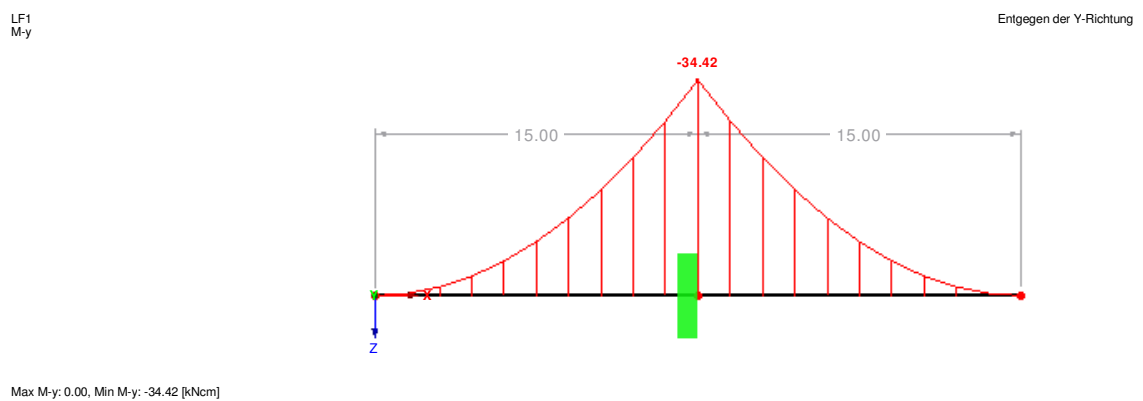


Bild (71) Stützung durch den Steg

Das maßgebende Moment $\max M$ beträgt 62,16 kNm.

Ermittlung der erforderlichen Plattendicke

Zur Ermittlung der Plattendicke wird gedanklich ein Streifen mit der Breite $b_s = 1,0\text{m}$ aus der Platte herausgeschnitten.

$$\text{erf } d_p = (6 * \max M * 1,1 / (f_{y,k} * b_s))^{0,5}$$

$$\text{erf } d_p = (6 * 62,16 * 1,1 / (21,5 * 1,0))^{0,5}$$

$$\text{erf } d_p = \underline{4,37\text{cm}}$$

Nachweis

$$\text{erf } d_p < \text{vorh } d_p$$

$$\underline{4,37} < 4,5$$

Nachweis erbracht!

7. Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit werden mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_F = 1,0$ geführt. Als Grenzwert der Verformung wird $1 / 200$ festgelegt. Es werden die mit RSTAB ermittelten Verformungen eingesetzt. Eine Verformungsbegrenzung durch einen Gurtdurchhang ergibt größere Werte, wird also nicht weiter untersucht.

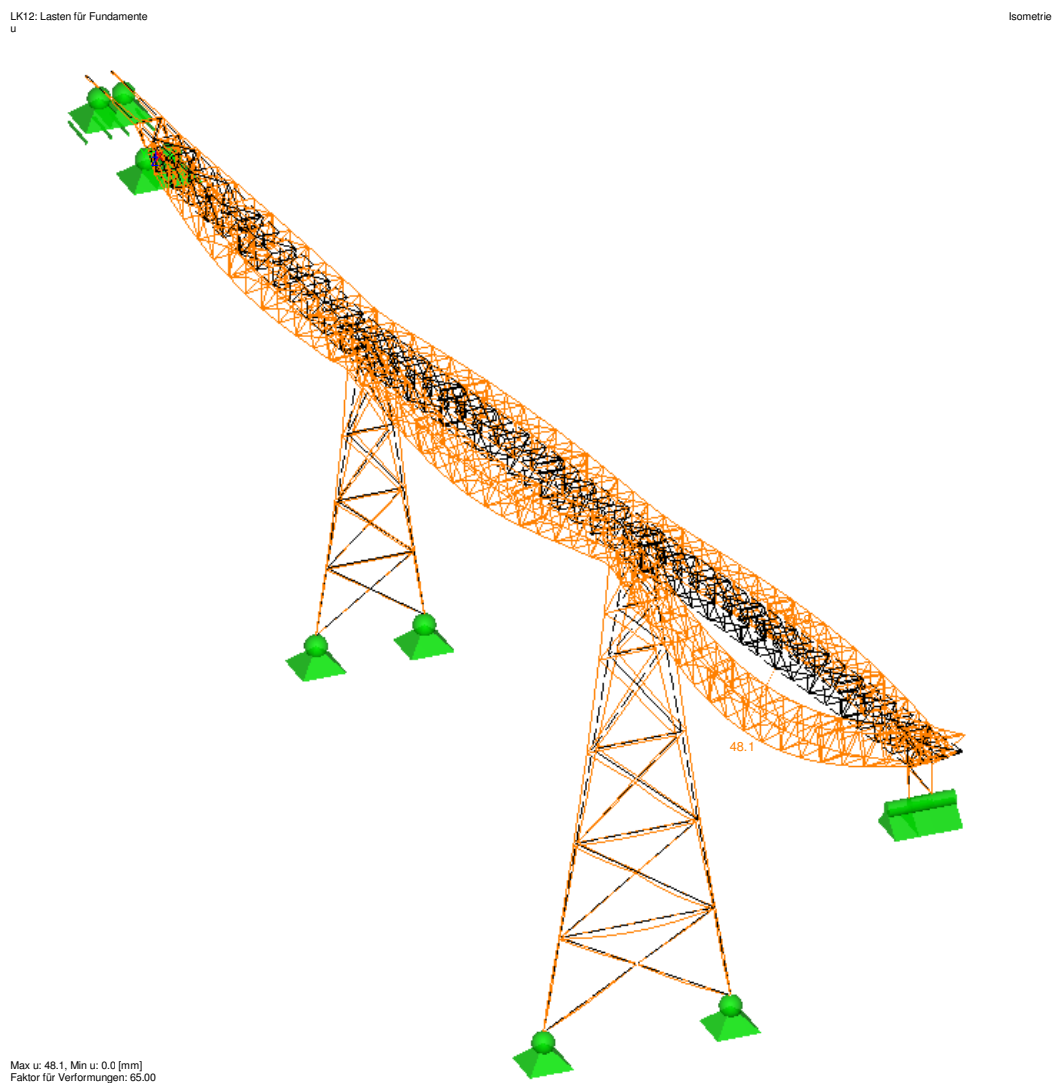
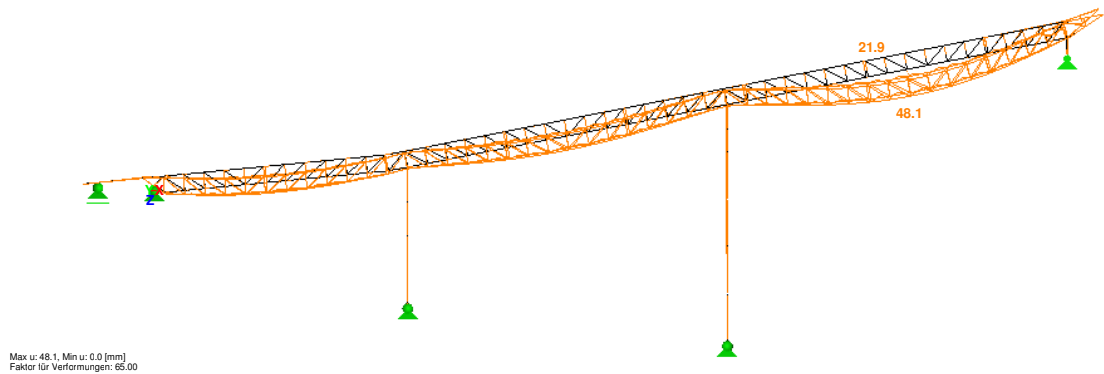
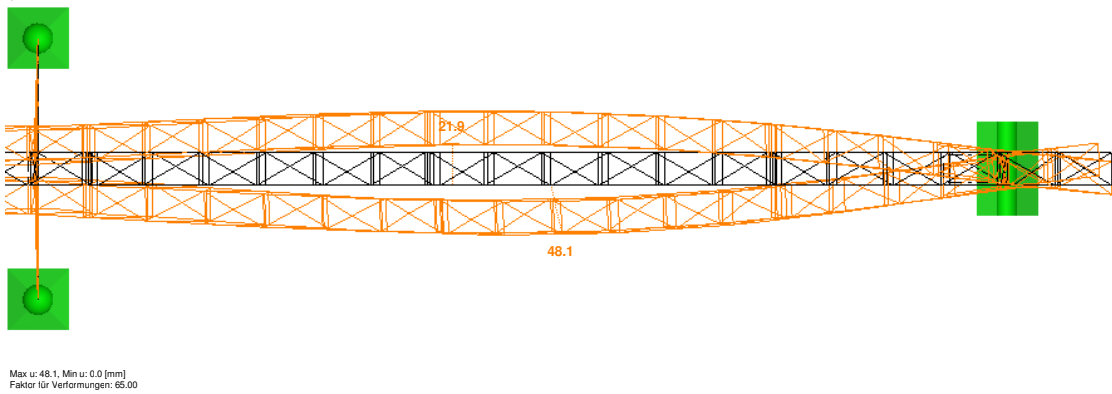


Bild (72) Verformungen am Gesamtsystem



Bild(73) Verformungen, Blickrichtung y-



Bild(74) Verformungen Bereich S3-S4, Blickrichtung z+

Verformung des Brückenkörpers im Bereich S3-S4 $\rightarrow u_{\text{Max}} = 48,1 \text{ mm}$

Bestimmung der zulässigen Verformung u_{zul}

$$u_{\text{zul}} = l / 200$$

$$\text{mit } l = 34000 \text{ mm}$$

$$u_{\text{zul}} = 34000 / 200$$

$$u_{\text{zul}} = \underline{170 \text{ mm}}$$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

$$u_{\text{zul}} > u_{\text{Max}}$$

$$\underline{170} > 48,1$$

Nachweis erbracht.

Verformung der Stützen

Hier wird der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit mit den Ergebnissen der Lastfallkombination 6 geführt, in der die Imperfektionen auf den Stabzug angesetzt wurden. Auch sind die Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_F = 1,35$) in dieser Lastfallkombination vorhanden.

Stütze S2

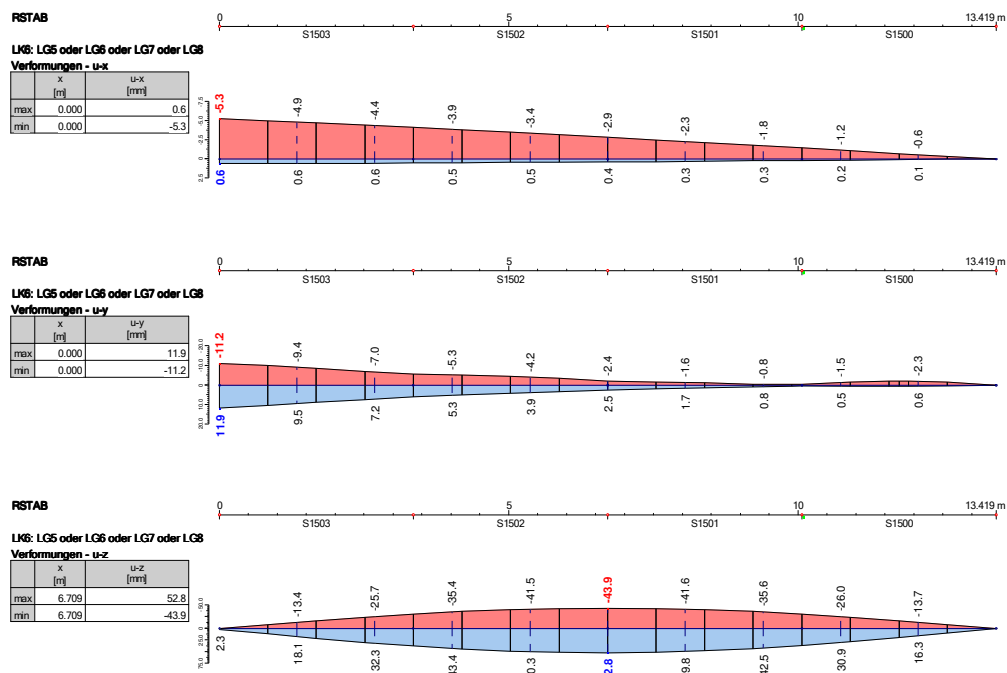


Bild (75) Ergebnisverlauf Stabzug 1 (Verformungen)

Maßgebend ist hier die Verformung in Stabzugmitte $u_{Max} = 52,8$ mm.

Bestimmung der zulässigen Verformung u_{zul}

$$u_{zul} = l / 200$$

$$\text{mit } l = 13419 \text{ mm}$$

$$u_{zul} = 13419 / 200$$

$$u_{zul} = \underline{67,1 \text{ mm}}$$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

$$u_{zul} > u_{Max}$$

$$\underline{67,1} > 52,8$$

Nachweis erbracht

Stütze S3

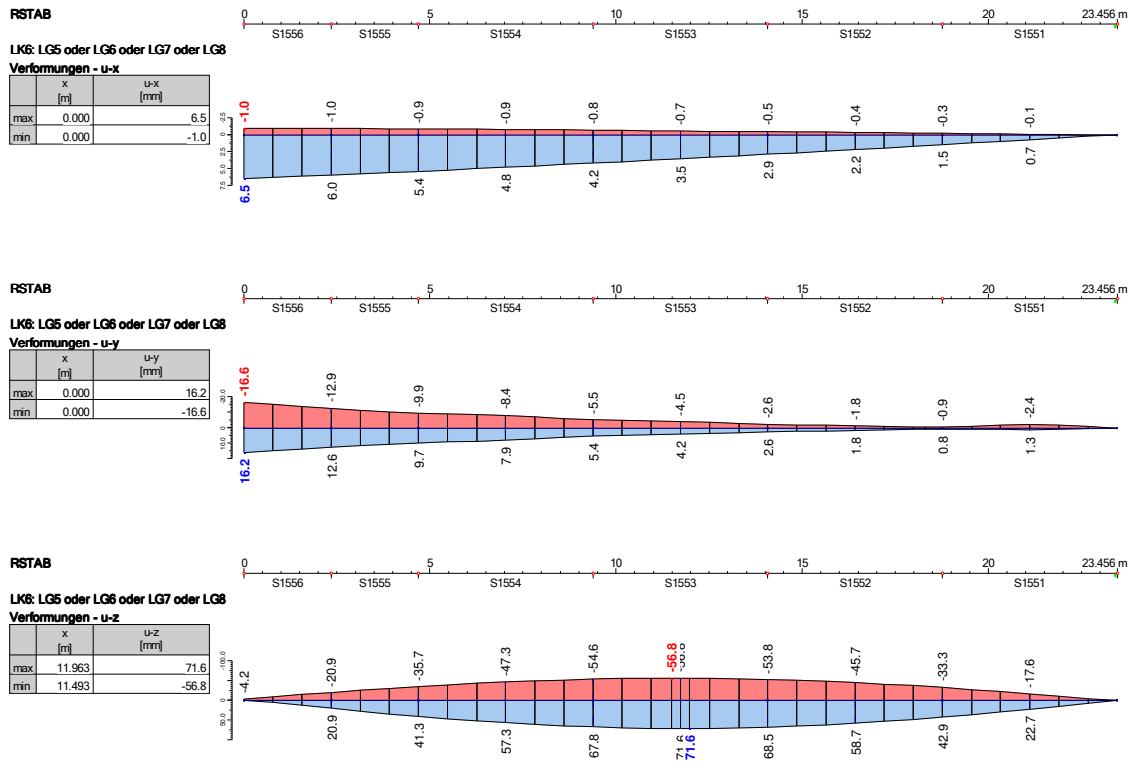


Bild (76) Ergebnisverlauf Stabzug 3 (Verformungen)

Maßgebend ist hier die Verformung in Stabzugmitte $u_{\text{Max}} = 71,6 \text{ mm}$.

Bestimmung der zulässigen Verformung u_{zul}

$$u_{\text{zul}} = l / 200$$

$$\text{mit } l = 23456 \text{ mm}$$

$$u_{\text{zul}} = 23456 / 200$$

$$u_{\text{zul}} = \underline{117,3 \text{ mm}}$$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

$$u_{\text{zul}} > u_{\text{Max}}$$

$$\underline{117,3} > 71,6$$

Nachweis erbracht

8. Stahlgüteauswahl

8.1 Stahlgütegruppenauswahl nach DAST 009

Mit diesem Nachweis wird ein ausreichender Widerstand gegen Sprödbruch gewährleistet. Der eingesetzte Werkstoff für die Fachwerkbrückenkonstruktion ist S235J2.

Zunächst wird eine Referenztemperatur bestimmt:

$$T_{Ed} = T_{mrd} + \Delta T_{\varepsilon} + \Delta T_{ecf}$$

Darin drücken sich die folgenden Einflussfaktoren auf die Materialauswahl aus:

T_{mrd} : Bemessungswert der Einsatztemperatur

ΔT_{ε} : Korrekturglied bei Dehngeschwindigkeiten über $4 \cdot 10^{-4} / s$

ΔT_{ecf} : Korrekturglied das Kaltumformgrade berücksichtigt

Einflüsse aus Kaltverformung und Dehnungsgeschwindigkeit existieren nicht.

Somit folgt: $T_{Ed} = T_{mrd} = -30^{\circ}C$ (außenliegendes Bauteil)

Als σ_{Ed} wird $0,75 \cdot f_y(x)$ festgelegt.

Nach Bild (77) beträgt die maximal einsetzbare Erzeugnisdicke für S235J2 60mm. Diese wird in keinem Bauteil der Konstruktion überschritten.

Bei den Bolzen die die Brücke mit den Stützen verbinden wird S355ML eingesetzt.

Auch hier wird von den oben genannten Eingangsparametern ausgegangen. Die Bolzendicke $d = 60mm$ ist kleiner als die maximale Erzeugnisdicke $t = 75mm$.

Stahlsorte		Kerb- schlag- arbeit CVN		Bezugstemperatur T_{Ed} °C																							
Stahl- sorte	Stahl- güte- gruppe	bei T °C	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50			
				$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$							
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60			
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75			
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100			
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55			
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70			
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95			
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110			
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145			
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45			
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60			
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80			
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95			
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130			
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85			
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120			
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70			
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80			
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95			
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115			
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130			
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45			
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50			
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60			
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75			
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85			
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100			

Bild (77) GröÖte zulässige Erzeugnisdicken t in mm

8.2 Vermeidung von Terrassenbrüchen nach DASt 014

Dieser Nachweis sichert die Materialeigenschaften bei einer Beanspruchung in Dickenrichtung. Das betrifft bei dieser Konstruktion die Stirnplatten der Fachwerkgurtstöße. Der Nachweis lautet:

$$Z_{Ed} < Z_{Rd}$$

Dabei ist: Z_{Ed} der erforderliche Z – Wert, der sich aus der Größe der Dehnungsbeanspruchung des Grundwerkstoffs infolge behinderter Schweißnahtschrumpfung ergibt.

Z_{Rd} der verfügbare Z – Wert des Werkstoffs nach DIN 10164

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

$$Z_a = 0 \text{ (} a < 17\text{mm)}$$

$$Z_b = 0 \text{ (b.) Zeile 4)}$$

$$Z_c = 6 \text{ (} t = 25\text{mm)}$$

$$Z_d = 0 \text{ (freie Schrumpfung)}$$

$$Z_e = 0 \text{ (ohne Vorwärmen)}$$

$$Z_{Ed} = 0 + 0 + 6 + 0 + 0$$

$$Z_{Ed} = \underline{6}$$

Nachweis

$$Z_{Ed} < Z_{Rd}$$

$$6 < 15$$

Für die Bauteile ist keine besondere Z – Güte erforderlich.





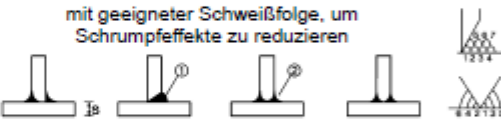


a)	Schweißnahtdicke, die für die Dehnungsbeanspruchung durch Schweißschrumpfung verantwortlich ist	Effektive Schweißnahtdicke a_{eff} , siehe Bild 3.2 $\hat{=}$ Nahtdicke bei Kehlnähten		Z_I
		$a_{\text{eff}} \leq 17 \text{ mm}$	$a = 5 \text{ mm}$	$Z_a = 0$
		$17 < a_{\text{eff}} \leq 10 \text{ mm}$	$a = 7 \text{ mm}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{\text{eff}} \leq 20 \text{ mm}$	$a = 14 \text{ mm}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{\text{eff}} \leq 30 \text{ mm}$	$a = 21 \text{ mm}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{\text{eff}} \leq 40 \text{ mm}$	$a = 28 \text{ mm}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{\text{eff}} \leq 50 \text{ mm}$	$a = 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
		$50 < a_{\text{eff}}$	$a > 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
b)	Nahtform und Anordnung der Naht in T-, Kreuz- und Eckverbindungen			$Z_b = -25$
		Eckverbindungen		$Z_b = -10$
		Einlagige Kehlnahtdicke mit $Z_a = 0$ oder Kehlnähte mit $Z_a > 1$ mit Buttern mit niedrigstem Schweißgut		$Z_b = -5$
		Mehrlagige Kehlnähte		$Z_b = 0$
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte	 mit geeigneter Schweißfolge, um Schrumpfeffekte zu reduzieren	$Z_b = 3$
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte		$Z_b = 5$
		Eckverbindungen		$Z_b = 8$
c)	Auswirkung der Werkstoffdicke s auf die lokale Behinderung der Schrumpfung	$s \leq 10 \text{ mm}$	$Z_c = 2^a$	
		$10 < s \leq 20 \text{ mm}$	$Z_c = 4^a$	
		$20 < s \leq 30 \text{ mm}$	$Z_c = 6^a$	
		$30 < s \leq 40 \text{ mm}$	$Z_c = 8^a$	
		$40 < s \leq 50 \text{ mm}$	$Z_c = 10^a$	
		$50 < s \leq 60 \text{ mm}$	$Z_c = 12^a$	
		$60 < s \leq 70 \text{ mm}$	$Z_c = 15^a$	
		$70 < s$	$Z_c = 15^a$	
d)	Auswirkung der großräumigen Behinderung der Schweißschrumpfung durch andere Bauteile	Schwache Behinderung: Freie Schrumpfung möglich (z. B. T-Anschlüsse)	$Z_d = 0$	
		Mittlere Behinderung: Freie Schrumpfung behindert (z. B. Querschott in Kastenträgern)	$Z_d = 3$	
		Starke Behinderung: Freie Schrumpfung verhindert (z. B. Längsrippe in orthotroper Fahrbahnplatte)	$Z_d = 5$	
e)	Einfluss der Vorwärmung	Ohne Vorwärmung	$Z_e = 0$	
		Vorwärmung $\geq 100^\circ\text{C}$	$Z_e = -8$	
^a Darf um 50 % reduziert werden, wenn der Werkstoff in Dickenrichtung vorherrschend statisch und nur durch Druckkräfte belastet wird.				

Bild (78) Einflüsse auf die Anforderung Z_{Ed}

9. Fundamentlasten

Zur Bemessung der Fundamente und Auflagerpunkte werden die Auflagerreaktionen mit charakteristischen Einwirkungen ($\gamma_F = 1,0$) ermittelt.

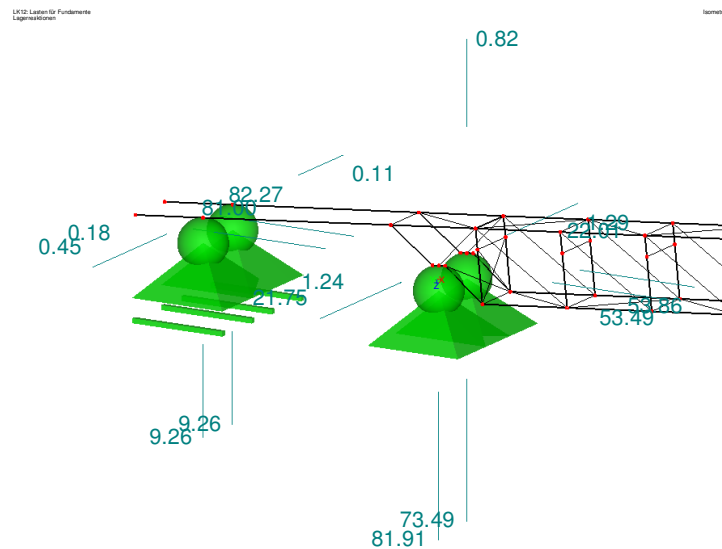


Bild (79) Auflagerreaktionen an der Aufgabestelle

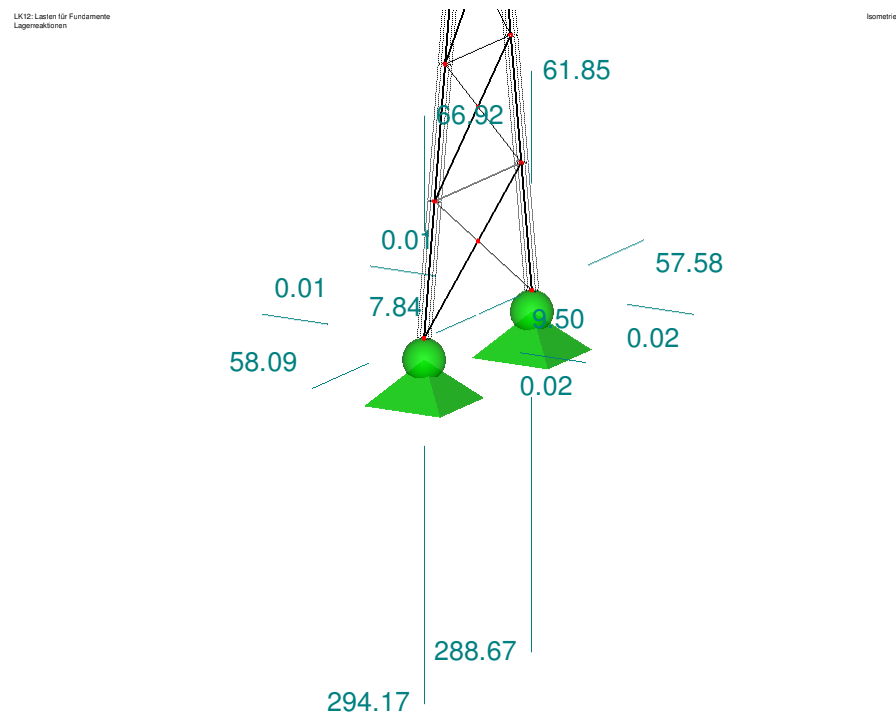


Bild (80) Auflagerreaktionen Stütze S2

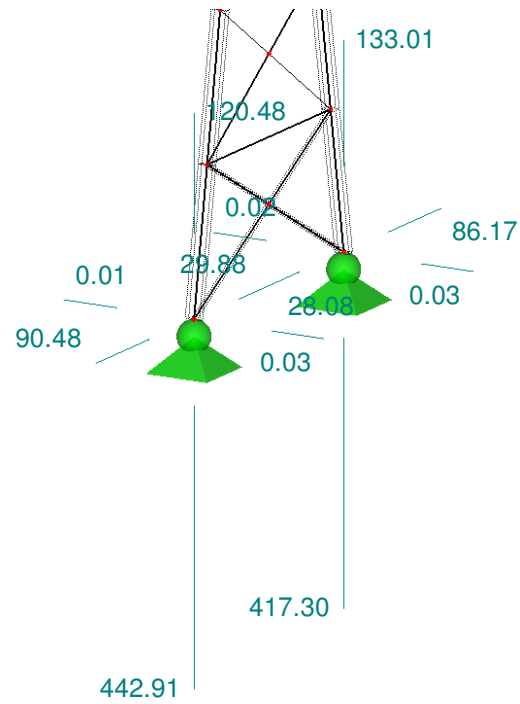


Bild (81) Auflagerreaktionen Stütze S3

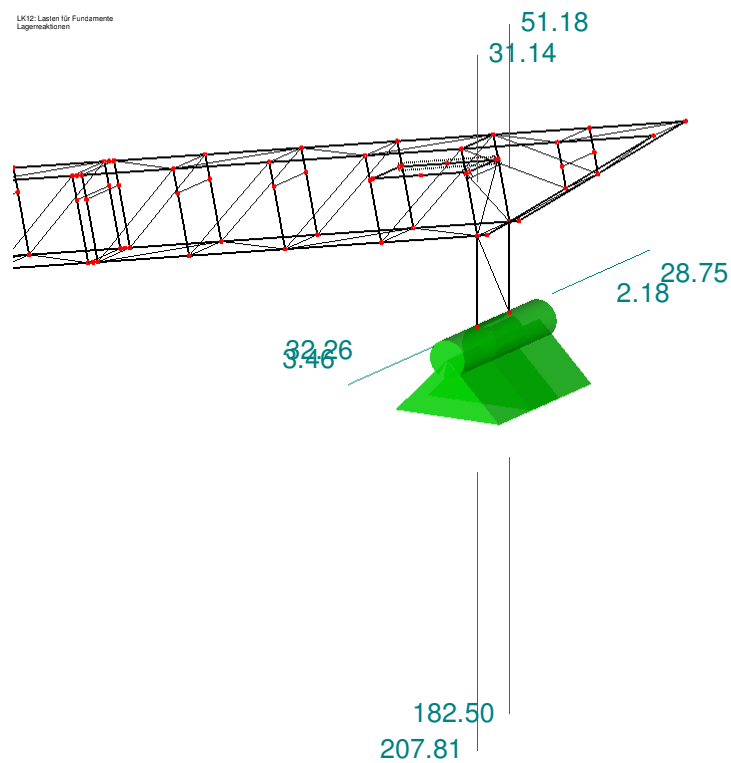


Bild (82) Auflagerreaktionen am Brückenkopf

Knoten Nr.		Lagerkräfte [kN]			Lagermomente [kNm]			Zugehörige Lastfälle
		P _X	P _Y	P _Z	M _X	M _Y	M _Z	
189	Max P _X	0,02	-57,58	288,67	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _X	-0,01	7,84	-61,85	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max P _Y	-0,01	7,84	-61,85	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min P _Y	0,02	-57,58	288,67	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Max P _Z	0,02	-57,58	288,67	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _Z	-0,01	7,84	-61,85	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max M _Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Min M _Z	0,02	-57,58	288,67	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Max P _X	0,02	58,09	294,17	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _X	-0,01	-9,50	-66,92	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
197	Max P _Y	0,02	58,09	294,17	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Y	-0,01	-9,50	-66,92	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _Z	0,02	58,09	294,17	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Z	-0,01	-9,50	-66,92	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max M _Z	0,02	58,09	294,17	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min M _Z	-0,01	-9,50	-66,92	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _X	0,03	-86,17	417,30	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _X	-0,02	29,88	-133,01	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max P _Y	-0,02	29,88	-133,01	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min P _Y	0,03	-86,17	417,30	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
198	Max P _Z	0,03	-86,17	417,30	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _Z	-0,02	29,88	-133,01	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max M _Z	0,02	-79,18	380,81	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Min M _Z	-0,01	22,89	-96,51	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Max P _X	0,03	90,48	442,91	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _X	-0,01	-28,08	-120,48	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _Y	0,03	90,48	442,91	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Y	-0,01	-28,08	-120,48	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _Z	0,03	90,48	442,91	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Z	-0,01	-28,08	-120,48	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
201	Max M _Z	-0,01	-21,09	-84,01	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min M _Z	0,03	83,49	406,44	0,00	0,00	0,00	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max P _X	53,49	-16,29	14,62	0,00	0,00	-2,82	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF16
	Min P _X	-81,00	21,65	81,91	0,00	0,00	3,63	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Max P _Y	-81,00	21,75	77,52	0,00	0,00	3,64	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15 LF20
	Min P _Y	53,11	-22,01	8,54	0,00	0,00	-3,70	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16
	Max P _Z	-81,00	21,65	81,91	0,00	0,00	3,63	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max M _Z	-81,00	21,75	77,52	0,00	0,00	3,64	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15 LF20
	Min M _Z	53,11	-22,01	8,54	0,00	0,00	-3,70	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16
332	Max P _X	53,86	-0,10	22,45	0,00	0,00	0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF15 LF20
	Min P _X	-82,27	-1,17	63,96	0,00	0,00	-0,19	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _Y	51,76	1,24	-0,82	0,00	0,00	0,11	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min P _Y	-81,86	-1,29	73,49	0,00	0,00	-0,21	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16

								LF20
	Max P _Z	-81,86	-1,29	73,49	0,00	0,00	-0,21	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _Z	51,76	1,24	-0,82	0,00	0,00	0,11	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max M _Z	51,76	1,24	-0,82	0,00	0,00	0,11	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min M _Z	-81,86	-1,29	73,49	0,00	0,00	-0,21	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
359	Max P _X	0,00	32,26	-51,18	4,13	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min P _X	0,00	-28,75	182,50	-2,25	0,00	0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Max P _Y	0,00	32,26	-51,18	4,13	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Min P _Y	0,00	-28,75	182,50	-2,25	0,00	0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Max P _Z	0,00	-28,75	182,50	-2,25	0,00	0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min P _Z	0,00	32,26	-51,18	4,13	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
	Max M _X	0,00	32,07	-25,75	4,36	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min M _X	0,00	-28,56	157,07	-2,47	0,00	0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max M _Z	0,00	-28,56	157,07	-2,47	0,00	0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Min M _Z	0,00	32,07	-25,75	4,36	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
360	Max P _X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Min P _X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max P _Y	0,00	3,46	207,81	4,08	0,00	-0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Y	0,00	-2,18	-31,14	-2,52	0,00	0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max P _Z	0,00	3,46	207,81	4,08	0,00	-0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min P _Z	0,00	-2,18	-31,14	-2,52	0,00	0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max M _X	0,00	3,46	207,81	4,08	0,00	-0,01	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11 LF15 LF20
	Min M _X	0,00	-2,18	-31,14	-2,52	0,00	0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF16
	Max M _Z	0,00	-1,98	-6,47	-2,33	0,00	0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12 LF16 LF20
	Min M _Z	0,00	3,26	183,14	3,88	0,00	-0,02	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF15
482	Max P _Y	0,00	0,45	9,26	0,00	0,00	0,53	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11
	Min P _Y	0,00	0,00	7,73	0,00	0,00	0,24	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF12 LF20
	Max P _Z	0,00	0,45	9,26	0,00	0,00	0,53	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11
	Min P _Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max M _Z	0,00	0,45	9,26	0,00	0,00	0,53	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF11
	Min M _Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
483	Max P _Y	0,00	0,18	7,73	0,00	0,00	0,16	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF20
	Min P _Y	0,00	-0,11	9,26	0,00	0,00	-0,10	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12
	Max P _Z	0,00	-0,07	9,26	0,00	0,00	-0,04	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF15 LF20
	Min P _Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max M _Z	0,00	0,18	7,73	0,00	0,00	0,16	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF11 LF20
	Min M _Z	0,00	-0,11	9,26	0,00	0,00	-0,10	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF10 LF12

Tabelle (3) Fundamentlasten

10. Literaturverzeichnis

Berechnungsnormen

- [1.1] DIN 1055-1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, 06-2002
- [1.2] DIN 1055-4: Windlasten, 03-2005
- [1.3] DIN 1055-5: Schnee- und Eislasten, 07-2005
- [1.4] DIN EN ISO 14122-2: Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen; Arbeitsbühnen und Laufstege, 01-2002
- [1.5] DIN EN ISO 14122-3: Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen; Treppen, Treppenleitern und Geländer, 01-2002
- [1.6] DIN 18800-1: Stahlbauten – Bemessung und Konstruktion, 11-2008
- [1.7] DIN 18800-2: Stahlbauten - Stabilitätsfälle
- [1.8] TGL 32274/07: Lastannahmen für Bauwerke – Windlasten, 12-1976
- [1.9] DIN 1055-3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, 03-2006
- [1.10] EN 1993-3-1 Stahlbauten – Türme, Maste und Schornsteine 02-2007

Literatur

- [2.1] Auflage: Pajer, G.; Kuhnt, H.; Kurth, F.: Stetigförderer; 5.Auflage, VEB Verlag Technik Berlin, 1988
- [2.2] Hühnersen, Fritsche: Stahlbau in Beispielen 2.Auflage, Werner Verlag, 1993

Verwendete Software

- [3.1] Ing.- Software Dlubal GmbH: Rstab 7.01, Tiefenbach, 2009
- [3.2] BENTLEY Systems Germany GmbH: PS3D, 18-2, Bensheim, 2008

11. Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Roßwein, den 25.09.2009

Matthias Glatz

11. Anlagen

Anlage 1	RSTAB Protokoll: Bandbrücke
Anlage 2	Auswahl der Gitterroste
Anlage 3	Lauf- und Wartungssteg
Anlage 4	RSTAB Protokoll: Laufsteg
Anlage 5	Zeichnungen